

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2011

Bc.Radek Šeda

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

**PROVĚŘENÍ MĚROVÉHO SYSTÉMU
KOMUNÁLNÍCH MĚŘIDEL V SÉRIOVÉ
VÝROBĚ**

**VERIFICATION OF MEASURING SYSTEM
FOR COMMUNAL GAUGES IN SERIAL
PRODUCTION**

KHT - 056

Liberec 2011

Bc.Radek Šeda

Zadání diplomové práce

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Anotace

ŠEDA, RADEK. *Prověření měrového systému komunálních měřidel v sériové výrobě*.
Liberec: Textilní fakulta Technické University Liberec, 2011. 83s. Diplomová práce.

Moje práce obsahuje přehled vybraných měřidel, se kterými se můžeme setkat ve výrobě a provozech s ní spjatých. Dále v ní uvádím potřebné základy metrologie, bez kterých nejsme schopni správně měřidla posoudit. Jedná se o nejistotu a způsobilost měření.

Smyslem této diplomové práce je pochopení podstaty vyhodnocování měřidel v návaznosti na výrobním systému.

Synopsis

ŠEDA, RADEK. *Verification of measuring system for communal gauges in serial production*.
Liberec: Textile faculty, Technical University of Liberec, 2011. 82 p. Thesis.

My work contains an overview of selected measuring instruments with which we can encounter in production and related operations. Furthermore, I present the necessary basics of metrology, without which we are not able to check the measures correctly. It is the uncertainty and capability of measuring.

The purpose of this thesis is to understand the nature of the evaluation of measuring instruments in relation to production system.

Klíčová slova: měřidla, nejistota, způsobilost

Key words: measures, uncertainty, capability

Obsah

Úvod.....	6
1 Metody k ověření vhodnosti měřidel.....	6
1.1 Nejistota měření.....	6
1.1.1 Výpočet nejistoty typu A.....	6
1.1.2 Výpočet nejistoty typu B.....	6
1.1.2 Kombinovaná nejistota.....	6
1.1.4 Rozšířená nejistota U.....	6
1.2 Způsobilost systému měření.....	6
1.2.1 Opakovatelnost EV.....	6
1.2.2 Reprodukovatelnost AV.....	6
1.2.3 Opakovatelnost a reprodukovatelnost R&R (GRR).....	6
1.3 Teplota při měření.....	6
1.4 Kalibrace měřidel.....	6
2 Určení problémových parametrů ve výrobě obrobny.....	6
2.1 Vytvoření skupin rozměrů.....	6
2.2 Vytipování vhodných rozměrů pro vybrané skupiny.....	6
3 Všeobecné zásady správného měření.....	6
4 Vyhodnocení vhodnosti užitých komunálních měřidel.....	6
4.1 Kalibrace měřidel.....	6
4.2 Určení nejistoty měření.....	6
4.2.1 Stanovení nejistoty posuvného měřidla digitálního 5327.....	6
4.3 Stanovení způsobilosti měřidel pomocí metody R&R (GRR).....	6
4.3.1 Výpočet způsobilosti pomocí metody R&R.....	6
4.4 Vyhodnocení měřidel pro vybrané skupiny.....	6
4.4.1 Vyhodnocení skupiny č.1 (rozteč otvorů).....	6
4.4.2 Vyhodnocení skupiny č.2 (vnitřní průměr).....	6
4.4.3 Vyhodnocení skupiny č.4 (zahloubení).....	6
4.4.5 Vyhodnocení skupiny č.5.....	6
4.4.6 Vyhodnocení skupiny č.6.....	6
4.4.6 Porovnání metod vyhodnocení způsobilosti měření.....	6
5 Návrh systému měření pro nevyhovující skupiny.....	6
5.1 Komunální měřidla na středisku obrobny.....	6
5.2 Návrh systému měření pro skupinu č.1 (rozteč 56,00±0,1).....	6
5.3 Návrh systému měření pro skupinu č.2 (průměr 3,00).....	6
5.4 Návrh systému měření pro skupinu č.4 (zahloubení 0,6+0,1).....	6
5.5 Návrh systému měření pro skupinu č.5 (rozměr 6,5 ±0,1mm).....	6
5.6 Návrh systému měření pro skupinu č.6 (rozměr 70).....	6
6 Zmetkovitost na minimální tloušťku stěny.....	6
6.1 Měření průchodky.....	6
6.2 Měření síly stěny odlitku.....	6
6.3 Vyhodnocení systémů měření.....	6
7 Proces obrábění.....	6
7.1 Prověření operace frézování.....	6
7.1.1 Vícenásobné upínání.....	6

7.1.2	Dvojnásobné upínání.....	6
7.2	Vhodnost konstrukce odlitku k tvorbě závitu.....	6
7.3	Vyhodnocení možnosti vzniku zmetku.....	6
7.4	Návrh nápravných opatření.....	6
8	Závěr.....	6
9	Seznam tabulek a obrázků.....	6
10	Seznam literatury.....	6

Úvod

Dnešní stav vývoje celosvětové společnosti se vyznačuje rychlým rozvojem poznání ve všech odvětvích. Rozhodujícími činiteli jsou plné využití poznatků vědy a techniky, to vyžaduje stále prohlubování teoretické i praktické přípravy v mnoha oborech. Jedním z těchto oborů je i obor měření.

Díky stále stoupajícím nárokům na přesnější výrobu za nižší cenu výrobků se dostáváme na hranici, kdy musíme měřicí systém stabilizovat za co možná nejnižší cenu. Pro tyto účely se osvědčila řada tzv. komunálních měřidel, jejichž cena a čas potřebný k měření jsou oproti speciálním či jednoúčelovým měřidlům přijatelné. Velkou výhodou komunálních měřidel je, že se s nimi velice snadno manipuluje a v rukou zkušených operátorů, kteří mají vštípené zásady správného měření, se z nich stávají „velice“ přesná měřidla s velkou škálou využití. Naopak značnou nevýhodou těchto měřidel je, že v rukou nezkušených operátorů přesnost měření velice klesá, a protože se dnešní doba vyznačuje velkou fluktuací zaměstnanců, tak zkušenosti s měřidly natož znalosti o správných zásadách měření klesly na nízkou úroveň.

Tyco Electronics před cca. 15 lety zařadilo do svého výrobního programu konektorovou výrobu využívající třískové obrábění tak, že v Německu koupilo výrobní podnik a zaimplementovalo jej do své struktury. Po několika letech došlo k rozhodnutí přesunout tento podnik z Neunkirchenu do Trutnova (2007).

Tyco Trutnov nemělo zkušenosti s obráběním hliníkových dílů, a tak muselo začít získávat zkušenosti a budovat celý výrobní i personální systém od základu, protože na stávajícím systému se nedalo stavět. Ke snaze o rychlou stabilizaci moc nepomohla již zmiňovaná fluktuace zaměstnanců, která měla za následek odliv pracně získaných zkušeností. Jednou z podob, jak se tato ztráta projevila, bylo spoléhání se při měření na určité typy měřidel bez zvážení jejich použitelnosti.

V této práci se pokouším nastínit možnost směru rozhodování o použitelnosti měřidel na výrobě HTS – obrobny a možné využití vybraných statistických metod pro řízení výroby.

Pro správné rozhodnutí, zda je měřidlo vyhovující pro měření daného znaku, je potřebné se seznámit s konstrukcí daných měřidel a osvojit si základy metrologie, abychom si ujasnili co, vše nám do měřících procesů vstupuje.

1 Metody k ověření vhodnosti měřidel

Před vlastním započítáním prací na mapování systému měření bylo stanoveno, že posouzení vhodnosti měřidla pro měření daného atributu nebudeme posuzovat pouze podle způsobilosti měřidel pomocí metody R&R, ale zamyslíme se nad všemi vlivy, které nám mohou ovlivnit měření, a posoudíme měřicí systém i z pohledu nejistoty měření.

Tento postup byl stanoven na základě úvahy o všech možných aspektech, které nám vstupují do měření.

1.1 Nejistota měření

Účelem stanovení nejistot při měření je zjištění intervalu hodnot okolo výsledku měření, který může být ovlivněn odchylkami nejistot měření. To znamená, že tento interval nás informuje o možném rozsahu kolem výsledku, kde se nám můžou pohybovat naměřené hodnoty za pomoci vzniku rušivých vlivů (teplota, vlhkost atd.).

Podle způsobu, kterým byly získány, dělíme nejistoty na dva typy, a to na nejistotu typu *A* a typu *B*. Jako míra nejistoty je zvolena směrodatná odchylka daného rozdělení pravděpodobnosti zdroje nejistoty. Rozdíl mezi nejistotou typu *A* a typu *B* je ve způsobu, jakým danou nejistotu získáme. Nejistota typu *A* je získána měřením, zatím co nejistotu typu *B* získáváme jinou metodou např. kvalifikovaným odhadem, která bude použita v této práci.

1.1.1 Výpočet nejistoty typu A

Nejistota *typu A* je stanovena výpočtem z opakovaně provedených měření. Jedná se o náhodné odchylky vznikající při opakovaném měření. Tato měření jsme získali z provedené kalibrace měřidel. Standardní nejistotu *typu A* vypočteme ze vzorce:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

kde u_A - je nejistota typu *A*
 n - počet měření
 x_i - hodnota jednotlivého z měření
 \bar{x} - průměrná hodnota ze všech měření

Průměrnou hodnotu vypočítáme:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

kde \bar{x} - průměrná hodnota ze všech měření
 n - počet měření
 x_i - hodnota jednotlivého z měření

Výše uvedený vztah platí za předpokladu provedení alespoň 10 měření. Pokud je počet měření $n < 10$, musíme standardní nejistotu *typu A* upravit koeficientem k_s , který je uveden v tabulce číslo 1. Poté stanovíme nejistotu *typu A* ze vztahu :

$$u_A = k_s S_x \quad (3)$$

kde u_A - je nejistota typu *A*
 k_s - je koeficient, jehož velikost závisí na počtu měření n , viz tabulka
 S_x - průměr z naměřených hodnot

Tabulka č.1: Koeficienty k_s

Počet měření n	Koeficient k_s
2	7
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3

8	1,2
9	1,2
10	1

Při větším počtu měření než 9 je $k_s = 1$ (doporučuje se volit počet měření > 10 , v krajním případě > 5).

1.1.2 Výpočet nejistoty typu B

Nejistoty *typu B* se nestanovují jako nejistoty *typu A* měřením, a tak často nastává otázka, jak jinak je stanovovat. Může se využít např. parametrů uvedených na výrobních štítcích např. přesnost displeje, nebo využít zkušeností například při stanovení maximální teplotní roztažnosti atd. Tuto nejistotu nejčastěji stanovujeme pomocí kvalifikovaného odhadu.

Možné zdroje nejistot typu B

Většina případů měření elektrických veličin, nebo ostatních veličin měřidly, u kterých je použito vhodných převodníků na elektrické signály (v poslední době případ většiny měřidel), je možné vybírat nejistoty z následujících zdrojů:

- nejistoty kalibrace nebo ověření,
- vnitřní tření v přístrojích,
- hystereze, mrtvý chod,
- vlastní ohřev,
- odvod či přestup tepla,
- nedodržení metodik
- paralaxa
- elektrostatické pole

Postup určování nejistot typu B

1. Vytipuj možné zdroje nejistot $Z_1, Z_2 \dots Z_n$.

2. Určí se standardní nejistoty *typu B* u_{Bz_j} každého zdroje nejistot (převzetím hodnot z technické dokumentace jako např.: kalibrační listy, technické normy, údaje výrobce atd., nebo odhadem.

- A. Odhadne se maximální rozsah změn $\pm \Delta z_{\max}$.
 B. Z obrázků číslo 1 dle typu rozdělení zjistíme konstantu κ
 C. Určí se nejistoty *typu B* z jednotlivých zdrojů Z_j ze vztahu.

$$u_{BZ} = \frac{\Delta Z_{\max}}{\kappa} \quad (4)$$

kde u_{BZ} - je dílčí nejistota typu *B* pro daný zdroj nejistoty

Δz_{\max} - max. hodnota dané nejistoty

κ - koeficient hodnoty směrodatné odchylky rozšířené nejistoty

3. Celková nejistota typu **B** je dána součtem nejistot jednotlivých zdrojů :

$$u_B = \sum u_{BZ} \quad (5)$$

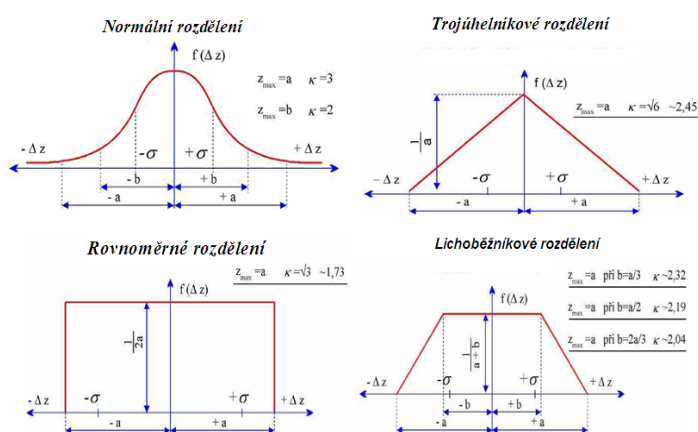
kde u_B - nejistota typu *B*

u_{BZ} - je dílčí nejistota typu *B* pro daný zdroj nejistoty

pásmo $\pm \sigma$ představuje standardní nejistotu pro $\kappa = 1$, pravděpodobnosti $P = 68\%$

pásmo $\pm b$ představuje rozšířenou nejistotu pro $\kappa = 2$, pravděpodobnosti $P = 95\%$

pásmo $\pm a$ představuje rozšířenou nejistotu pro $\kappa = 3$, pravděpodobnosti $P = 99,7\%$



Obrázek č.1: Typy rozdělení

1.1.2 Kombinovaná nejistota

Kombinovanou nejistotu vypočítáme geometrickým součtem nejistoty *typu A* a nejistoty *typu B*.

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (6)$$

kde u - kombinovaná nejistota

u_A - nejistota *typu A*

u_B - nejistota *typu B*

1.1.4 Rozšířená nejistota U

Kombinovaná nejistota u byla určena s pravděpodobností $P=68\%$ (koeficient rozšíření $k=1$). Pokud je potřeba pracovat s vyšší pravděpodobností než je 68% , potom kombinovanou nejistotu u vynásobíme koeficientem rozšíření k pro danou pravděpodobnost. Koeficient rozšíření k je uveden v tabulce číslo 2:

$$U = ku \quad (7)$$

kde U - rozšířená standardní nejistota

u - kombinovaná standardní nejistota

k - koeficient rozšíření

Tabulka č.2: Koeficienty rozšíření k pro normální rozdělení

Koeficient rozšíření k	Pravděpodobnost P
1	68%
2	95%
2,58	99%
3	99,7%

V praxi se uvádí nejistota výsledku měření rozšířená koeficientem $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti 95% .

Postupu výpočtu nejistoty

Při výpočtu nejistot můžeme postupovat dle následujícího postupu:

1. Ve stabilních podmínkách se provedou opakovaná měření.

2. Na odečtené hodnoty se aplikují veškeré nutné korekce (např. známých systematických chyb měřicích přístrojů).
3. Stanoví se průměrná hodnota nejistota typu A.
4. Určí se všechny zdroje nejistoty typu B.
5. Pro každý zdroj nejistoty typu B se určí jeho krajní meze, mezi nimiž by se měla nacházet jeho skutečná hodnota.
6. Vypočítá se nejistota typu B a obdobně i kombinovaná nejistota.
7. Určí se koeficient rozšíření pro požadovanou pravděpodobnost pokrytí a určí se rozšířená nejistota.

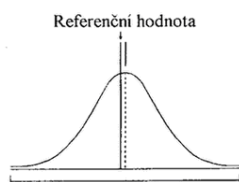
1.2 Způsobilost systému měření

Hodnota způsobilosti měřicího systému je kombinací variability měření náhodných a systematických chyb. To je hlavní rozdíl oproti nejistotě měření, která vyjadřuje očekávané rozmezí chyby výsledku měření.

Byla stanovena metoda R&R III. vydání pro zjištění způsobilosti měřicího systému. Tato metoda využívá variability měřicího přístroje (EV) a variability operátorů (AV).

1.2.1 Opakovatelnost EV

Opakovatelnost je variabilita měření uskutečněných na jednom měřicím přístroji, který byl použit několikrát stejným operátorem pro měření identického znaku na totožném dílu. Někdy se o opakovatelnosti hovoří jako o variabilitě uvnitř systému za předem definovaných podmínek měření. Variabilita je dána náhodnými chybami u po sobě se opakujících zkoušek za předem daných podmínek.



Obrázek č.2: Zobrazení opakovatelnosti

$$EV = \overline{RK}1$$

(8)

kde \overline{R} - průměrné rozpětí, vypočítané z průměrných hodnot rozpětí všech operátorů. Rozpětí je vzdálenost na číselné ose mezi největší a nejmenší hodnotou ve skupině naměřených hodnot

K1 - je koeficient závislý na počtu měření každého vzorku jedním operátorem, jak uvádí tabulka číslo 3.

Tabulka č.3: Tabulka koeficientů počtu měření

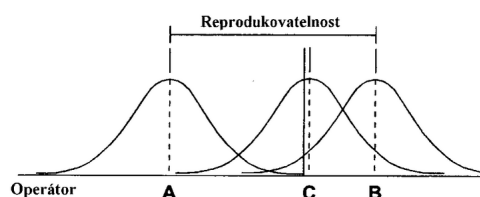
Počet měření r	Koeficient K1
2	0,8862
3	0,5908

Možné příčiny chybné opakovatelnosti

- dílu (výběru): forma, poloha, povrchová úprava, zkosení,
- přístroje: oprava; opotřebení, závada zařízení nebo přípravku, špatná kvalita
- etalonu: kvalita, třída, opotřebení,
- metody: variabilita nastavení, technika, nulování, uchycení, upnutí,
- operátora: technika, poloha, nedostatek zkušeností, výcvik, cit, únava,
- prostředí: krátkodobé výkyvy teploty, vlhkosti, vibrací, osvětlení, čistoty,
- porušení předpokladu - stabilní, správný provoz,
- nesprávné měřidlo pro danou aplikaci,
- deformace měřidla nebo části, nedostatečná pevnost,
- aplikace - poloha, chyba pozorování, čitelnost, paralaxa.

1.2.2 Reprodukovatelnost AV

Reprodukovatelnost je variabilita průměru několika měření uskutečněných různými operátory na stejném měřicím přístroji při měření identického znaku na totožném dílu. U ručních přístrojů může být reprodukovatelnost ovlivněna zručností a odborností operátorů.



Obrázek č.3: Zobrazení reprodukovatelnosti

A – operátor provádějící první měření;

B – operátor provádějící druhá měření

C – operátor provádějící třetí měření

$$AV = \sqrt{(XpDIFK2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (9)$$

kde AV - hodnota reprodukovatelnosti

XpDIF-je rozdíl největší a nejmenší průměrné hodnoty měření operátorů.

K2 - je koeficient závislý na počtu operátorů viz. Tabulka číslo 4

EV - hodnota opakovatelnosti

n - je počet vzorků

r - je počet měření každého vzorku jedním operátorem

Tabulka č.4: Tabulka koeficientů počtu operátorů

Počet operátorů	Koeficient K2
2	0,7071
3	0,5231

Potenciální zdroje chyby reprodukovatelnosti

- mezi přístroji: rozdíl při použití přístrojů na stejných dílech, stejnou obsluhou a ve stejném prostředí,
- mezi etalony: vliv různých hlavních etalonů v procesu měření,
- mezi metodami: nulování, způsoby upevnění nebo uchycení atd.,
- mezi operátory: rozdíl mezi operátory způsobený výcvikem, odborností a zkušenostmi,
- mezi prostředím: rozdíl u měření v čase 1, 2, 3 atd.,
- návrh přístroje metoda nejsou odolné,
- účinnost školení obsluhy,
- aplikace velikost dílu, chyba pozorování (čitelnost, paralaxa).

1.2.3 Opakovatelnost a reprodukovatelnost R&R (GRR)

Touto metodou získáme rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému *EV* a mezi systémy *AV*. Postup při měření za použití této metody jsme shrnuli do několika bodů:

1. Z výrobního procesu odebereme 10 vzorků, které svými hodnotami znaků reprezentují skutečné rozpětí variability procesu. Vzorky se očíslovají.
2. Vyberou se tři operátoři (A, B, C), kteří budou v procesu výroby systém měření používat. Operátory volíme určené a zaškolené pro dané pracoviště.
3. Měření řídí koordinátor, který také zaznamenává naměřené hodnoty do formuláře. Operátoři nesmí být ovlivňováni zveřejňováním výsledků měření.
4. Operátoři změří 10 vzorků stejným měřidlem v náhodném pořadí.
5. Operátoři změří podruhé 10 vzorků stejným měřidlem v náhodném pořadí.
6. Operátoři změří potřetí 10 vzorků stejným měřidlem v náhodném pořadí.
7. Zpracování naměřených hodnot provedeme ručně, pro kontrolu použijeme výpočetní techniku používanou ve společnosti Tyco.

Poznámka: Počet operátorů a počet měření vzorku jedním operátorem může být snížen nebo navýšen.

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (10)$$

kde GRR - je hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

EV - hodnota opakovatelnosti

AV - hodnota reprodukovatelnosti

Vyhodnocení dat R&R

Hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) se obvykle udává v procentech z celkové variability dílu, nebo šířky tolerančního pole znaku:

Vyhodnocení %GRR v závislosti na toleranci:

$$\%GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100 \quad (11)$$

kde %GRR - hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti
v procentech z tolerance

T - sigma tolerančního pole

$$T = \frac{UCL - LCL}{6} \quad (12)$$

kde UCL - horní tolerance

LCL - dolní tolerance

Výhodnocení %GRR v závislosti na variabilitě dílu:

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} 100 \quad (13)$$

kde %GRR - hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti
v procentech z variability vzorků

TV - celková variabilita

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (14)$$

kde GRR - hodnota opakovatelnosti

PV - variabilita dílu

$$PV = R_p K_3 \quad (15)$$

kde R_p - je rozdíl mezi maximální a minimální průměrnou
hodnotou z měření všech hodnot jednotlivých vzorků

Tabulka č.5: Tabulka koeficientů K_3

POČET OPAKOVÁNÍ	K_3
2	0,7071
3	0,5231
4	0,4467
5	0,403
6	0,3742
7	0,3534
8	0,3375
9	0,3249
10	0,3146

$$R_p = (\max \bar{x}_{Pi} - \min \bar{x}_{Pi}) \quad (16)$$

kde $\max \bar{x}_{Pi}$ - maximální průměrná hodnota dané skupiny vzorku
 $\min \bar{x}_{Pi}$ - minimální průměrná hodnota dané skupiny vzorku

Vyhodnocení měřidel metodou R&R (%GRR)

- < 10 % - systém měření je přijatelný
- 10 % - 30 % - použití systému měření je nutno zvážit podle důležitosti aplikace
- > 30 % - systém měření je nezpůsobilý

Práh citlivosti - ndc - Number of Distinc Categories

Práh citlivosti je dalším parametrem, který při vyhodnocení měřicího systému vyhodnocujeme. Je to velikost změny vzhledem k referenční hodnotě, kterou může přístroj zjistit a věrně indikovat. Dále může být označován jako čitelnost nebo rozlišitelnost. Obecně se měřidlo bere jako vyhovující, pokud jeho index *ndc* je roven nebo větší 5.

Obecnou zásadou je, že práh citlivosti měřicího přístroje by měl činit nejméně jednu desetinu měřeného rozsahu. Běžně se tento rozsah chápe jako výrobní toleranční pole rozměru.

$$ndc = 1,41\left(\frac{PV}{GRR}\right) \quad (17)$$

Kde PV - variabilita dílu
 GRR - hodnota opakovatelnosti

Důležité je si při výpočtu tohoto parametru uvědomit, že *PV* je počítáno z metody variability mezi díly a pokud nastane případ, že měřidlo budeme posuzovat vzhledem k výrobní toleranci, může nám takto vypočítaný index zanést značnou chybu do hodnocení.

1.3 Teplota při měření

Teplotní roztažnost je jeden z často opomíjených faktorů, který nám značně ovlivňuje systémy měření. U měřicího systému musíme zvážit, jakým vlivem nám tepelná roztažnost působí na produkt. Pokud se naměřená hodnota pohybuje v řádech

desetin a vyšších, pak teplotu můžeme opomenout. V případě měření hodnot pohybujících se v řádech setin a přesnějších se pak začíná vliv teploty projevovat.

Možné příčiny změn teplot

1. Pokud vyndáme zahřátý nebo ochlazený obrobek ze stroje a nezajistíme jeho teplotní ustálení.
2. Máme-li špatně vyřešené odstínění a dopadá-li sluneční paprsek přímo na obrobek.
3. Zahřejeme-li obrobek nebo měřidlo rukou.
4. Není-li zajištěna stabilní teplota v místnosti.
5. Různé teploty v různých pracovištích.

Najdeme spoustu dalších možností, při kterých může dojít k vychýlení teploty. Pokud se systém nedá proti působení teplotních změn stabilizovat, pak musíme naměřené výsledky korigovat teplotním součinitelem dle vztahu:

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta_t) \quad (18)$$

kde α - součinitel délkové roztažnosti,

l_0 - počáteční délkový rozměr,

l - koncový délkový rozměr,

Δ_t - teplotní rozdíl

Hodnoty délkové roztažnosti α některých vybraných kovů jsou uvedeny v tabulce číslo 6.

Tabulka č.6: Koeficienty délkové roztažnosti

Látka:	$10^{-6}\alpha$
Bronz	17,5
Hliník	23,8
Měď	16,2
Mosaz	18,4
Nikl	13,1
Ocel	12

Z parametrů teplot prostředí a chladících kapalin dosažených v letních měsících jsme provedli úvahu, ze které jsme vytvořili následující příklad:

Příklad:

Na CNC obráběcím centru se vystružil v hliníkovém bloku otvor $\phi 36H7$. Byl kontrolován válečkovým kalibrem vyrobeným z oceli. Teplota na dílně byla $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chladicí kapalina nebyla chlazená a její teplota byla $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Následně se blok dal k proměření na měrové středisko, kde je udržovaná konstantní teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozdíl mezi teplotou okolí a chladicí kapalinou je pro nás v tomto případě zanedbatelný a nebudeme s ním počítat. Do vzorce zadáme rozdíl koeficientů roztažnosti hliníku a oceli $\Delta\alpha$.

$$l_0 = \phi 36H7 = \phi 36,000 +0,025;$$

$$\alpha_{\text{ocel}} = 12 \cdot 10^{-6};$$

$$\alpha_{\text{hliník}} = 23,8 \cdot 10^{-6};$$

$$t_{\text{dílna}} = 38^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{stř.}} = 20^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t = 38^{\circ} - 20^{\circ} = 18^{\circ};$$

$$\Delta\alpha = (23,8-12) \cdot 10^{-6} = 11,8 \cdot 10^{-6};$$

$$l = l_0 (1 + \alpha\Delta t)$$

$$l = 36,000(1 + 0,0000118 \cdot 18)$$

$$l = 36,000 \cdot 1,0002124$$

$$\underline{l = 36,0075\text{ mm}}$$

Po ustálení teploty bloku hliníku a válečkového kalibru na měrovém středisku došlo díky různé délkové roztažnosti obou dílců k vyššímu smrštění průměru u hliníkového bloku. To mělo za následek, že bloky vyrobené v toleranci $36,000-36,0075$ se vyrobily pod předepsanou toleranci. V tomto případě se jednalo o 30 % tolerance ovlivněné teplotou.

1.4 Kalibrace měřidel

Pro posouzení, zda měřidlo není poškozené a zda splňuje výrobcem definované parametry, provedeme kalibraci měřidla. Výsledky měření provedené při kalibraci nám poslouží jako podklad pro výpočet nejistoty typu A daného měřidla.

1. Hodnoty prostředí

Teplota vzduchu ustálena v rozmezí od 18 do 22°C, při maximální změně teploty 2°C za 1 hodinu.

2. Postup kalibrace

A. Příprava - čištění, temperování (min. 1 hodinu)

B. Kontrola

- vzhledová:
 - stupnice čitelná v celém rozsahu
 - měřicí plochy bez poškození a koroze
- funkce:
 - chod v celém měřicím rozsahu
 - vůle ve vedení
 - při použití aretace se nesmí změnit nastavená hodnota
- rovinnost měřicích ploch

3. Zápis získaných dat.

Výsledky kalibrace jsou udány v kalibračním protokole. V každém kalibračním protokole se udávají naměřená úchytky a měřicí nejistota *typu A* daného měřidla. Na čelním listě kalibračního protokolu se udává - vyhovuje , případně nevyhovuje.

2 Určení problémových parametrů ve výrobě obrobny

K zmapování výrobního procesu a identifikaci problémových parametrů se využilo nadefinovaných důležitých znaků, které se řídí Tyco směrnicí F23055-F6111-X- -35. Tato směrnice nám udává bližší požadavky na důležité rozměry (kontrolní plán, kontrolní fota, SPC atd.). Kontrola dle znaků byla provedena na vytipovaných výkresech pro obrábění vstupních hliníkových komponent 1110034, 1110049, 1110137 a 1110139. Dále jako vodítko pro určení problémových rozměrů bylo použito poznatků z reklamací a zmetkových hlášení.

Po vytipování problémových rozměrů se provedlo jejich sjednocení do několika skupin a to z důvodu výskytu mnoha typově podobných rozměrů, jako jsou měření velkého množství roztečí, které se liší pouze vlastní hodnotou atd. U mnoha těchto podobných rozměrů se použil pro prověření měřidel rozměr s nejmenší výrobní tolerancí.

2.1 Vytvoření skupin rozměrů

Po kontrole všech výkresů uvedených v seznamu (tabulka číslo 7) jsme zjistili výskyt jediného předepsaného znaku z TE specifikace. Jedná se o znak zobrazený na obrázku číslo 4. Tento znak nám definuje, že daný rozměr musí být součástí kontrolního plánu pokud, není dohodnuta a schválena změna.



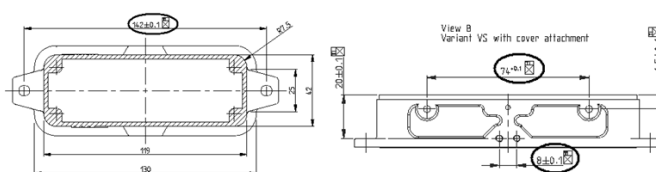
Obrázek č.4: Důležitý výrobní znak

Tabulka č.7: Seznam výkresů

Seznam výkresů	
Číslo výkresu	Číslo vstupní komponenty
1102755	1110034
1102760	1110139
1110669	1110034
1110681	1110049
1110743	1110139
1245049	1110034
1245057	1245415
1245134	1245417

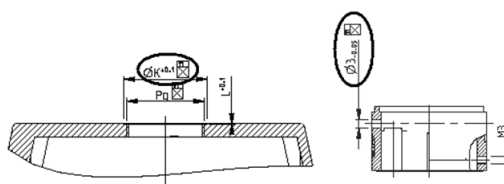
Za využití tohoto znaku jsme vytipovali „složitější“ typy rozměrů, u kterých jsme prověřili použitelnost měrového systému. Dále na základě diskusí s kvalitáři a technologi střediska HTS bylo rozhodnuto o rozšíření této skupiny o další typy rozměrů, které nejsou definovány jako důležité, ale z pohledu kvality či zmetkovitosti mají pro nás značný význam, a proto jsou zařazeny do kontrolních plánů. Skupiny rozměrů jsme stanovili takto:

Skupina č.1 - rozteče mezi otvory.



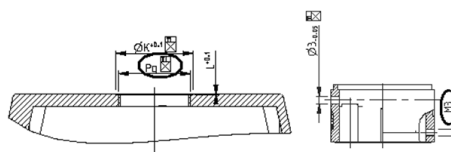
Obrázek č.5: Příklad kóty rozteče

Skupina č.2 - vnitřními průměry.



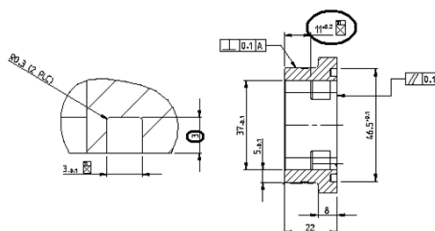
Obrázek č.6: Příklad kóty průměru

Skupina č.3 - vnitřní závity.



Obrázek č.7: Příklad kóty závitu

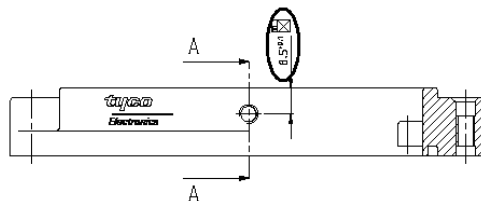
Skupina č.4 - zahlobení a hloubky drážek.



Obrázek č.8: Příklad kóty hloubky

Skupina č.5

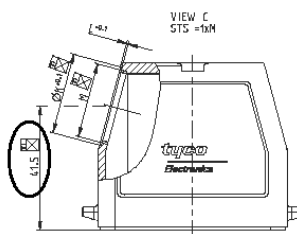
- rozteče otvorů kotované k hraně odlitku.



Obrázek č.9: Příklad kóty osy průměru od hrany odlitku 1

Skupina č.6

- rozteče otvorů kótované od spodní části odlitku, otvor na šikmé stěně odlitku.



Obrázek č.10: Příklad kóty osy průměru od hrany odlitku 2

2.2 Vytipování vhodných rozměrů pro vybrané skupiny

Pro každou ze skupin byl stanoven konkrétní zástupce. Tento zástupce byl stanoven tak, aby respektoval nejčtenějšího a zároveň i nejpřísnějšího zástupce dané skupiny rozměrů.

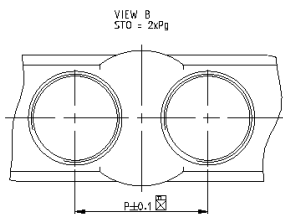
Skupina č.1 (rozteče mezi otvory)

V této skupině byl stanoven jako zástupce rozměr 56mm. Jedná se o klasického zástupce této skupiny s výrobní tolerancí $\pm 0,1\text{mm}$, jehož metoda měření digitálním posuvným měřidlem lze shrnout do několika kroků:

- 1) změření obou průměrů pro závit v ose protínající oba otvory
- 2) výpočet jejich průměrné hodnoty
- 3) změření nejužšího místa mezi otvory

- 4) přičtení vypočtené průměrné hodnoty k získané hodnotě nejužšího místa

U daného postupu je patrné, že dochází ke třem měřením.



Obrázek č.11: Příklad kóty rozteče děr

Skupina č.2 (průměry)

Tato skupina je asi největší skupinou s nejvíce typy kót jak do velikosti průměru, tak do velikosti výrobní tolerance. Rozměry se pohybují od průměrů cca. 2 mm do průměrů cca. 65 mm. Výrobní tolerance se v této skupině pohybují od $+0,05$ mm do $\pm 0,3$ mm. Protože se jedná o největší skupinu rozměrů, bylo rozhodnuto pro měření dvou průměrů s výrobními tolerancemi $+0,05$ mm a $+0,1$ mm. Všechny rozměry v této skupině se měří digitálním posuvným měřidlem.

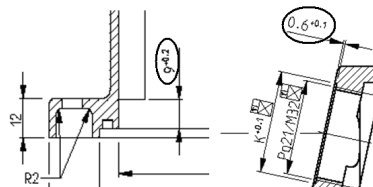
Jako první zástupce této skupiny byl určen průměr $3+0,05$ mm, který je jedním ze dvou nejrozšířenějších průměrů s touto výrobní tolerancí. Jako druhý zástupce byl stanoven průměr $39,5 +0,1$.

Skupina č.3 (závity)

Vzhledem ke složitosti měření vzorků pro tuto skupinu se dohodlo, že nebudeme prověřovat způsobilost měřidel závitů (závitové kalibry).

Skupina č.4 (zahloubení)

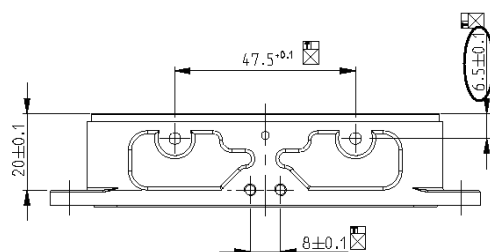
Typickým a velice důležitým zástupcem této skupiny je zahloubení tzv. podest. Tato zahloubení mají značný funkční význam. K měření těchto rozměrů jsou k dispozici digitální posuvná měřidla a úchylkoměry. V praxi se využívají pouze posuvná měřidla. Pro kontrolu způsobilosti byly určeny rozměry $9 +0,2$ mm a $0,6 +0,1$ mm.



Obrázek č.12: Příklad kótování podesty a zahloubení

Skupina č.5 (rozteč od kraje odlitku)

Zástupcem byl stanoven rozměr $6,5 \pm 0,1$ mm.



Obrázek č.13: Příklad kóty od osy ke kraji odlitku

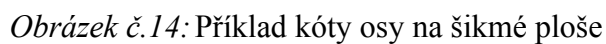
Skupina č.6 (rozteč k šikmé ploše)

Tato skupina kót se vyskytuje u všech konektorů typu STS. Jedná se o rozměr, který se vztahuje k šikmé ploše a jeho kontrola probíhá pomocí posuvného měřidla ve dvou krocích:

- 1) Změření malého průměru závitu.
- 2) Polovinu malého průměru závitu přičteme k odměřené hodnotě od spodní části odlitku k okraji malého průměru závitu.

U tohoto stylu měření jsme se zamysleli, zda je tato metoda vhodná pro daný znak, a došli jsme k závěru o nevhodnosti této metody z důvodu nezohlednění úhlu šikmé plochy do výsledku měření.

Jako zástupce této skupiny byl určen rozměr $M = 70 \pm 0,3$ mm.



Tabulka č.8: Seznam vybraných skupin a zástupců pro kontrolu

Skupina	Měřidlo	Rozsah měřidla	Kóta	Číslo výkresu
Rozteče otvorů skupina č.1	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	56,00 ±0,1mm	1110669
Vnitřní průměr skupina č.2	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	3,00 +0,05mm	1110681
Vnitřní průměr skupina č.2	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	39,50 +0,1mm	1110669
Zahloubení skupina č.4	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	0,60 +0,1mm	1110669
Zahloubení skupina č.4	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	9,00 +0,2mm	1110669
Rozměr od hrany skupina č.5	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	6,50 ±0,1mm	1110694
Rozměr k šik.ploše skupina č.6	posuvné měřidlo digitální	0 – 150mm	70,00 ±0,3mm	1110669

3 Všeobecné zásady správného měření

Před vlastním vyhodnocením měřidel zde uvedeme všeobecné zásady správného měření , protože byla zjištěna jejich absence na pracovištích:

1. Všeobecně pro měření platí, že by měřidlo mělo měřit o řád přesněji, než je požadovaný rozměr.
2. Měřená součástka i měřidlo musí mít stejnou teplotu. Kontrolované dílce necháme před měřením ustálit na teplotu okolí. Měřidla chráníme před ohříváním. Při měření většího počtu stejných součástek se snažíme měřidlo upnout do přípravku.
3. Měřená součástka a měřicí dotyky musí být při měření čisté. Měřících dotyků se pokud možno nedotýkáme.
4. Při používání měřidel pracujeme s citem, ne silou. Kontrolovaný předmět nezatlačujeme mezi pevně nastavené měřicí plochy. Kalibry držíme lehce, aby mohly klouzat po součástce vlastní vahou. Do vodorovných děr je zasouváme s citem.
5. Měřidla mají být zkonstruována tak, aby osa měření byla přímým pokračováním osy měřidla.
6. Při měření dbáme, aby dotyky měřidla správně přiléhaly k měřenému dílci.
7. Naměřenou hodnotu odečítáme při dobrém osvětlení. Při odečítání se díváme kolmo na rovinu stupnice.. Při měření měřidly se stupnicí musí být stupnice měřidla a hrana předmětu co nejbližší u sebe.
8. Ruční přenosná měřidla pokládáme na měkkou podložku odděleně od jiných předmětů.

4 Vyhodnocení vhodnosti užitých komunálních měřidel

Pro vyhodnocení měřidel jsme nejdříve vypočítali nejistotu měření. Pro výpočet nejistoty typu A jsme provedli kalibraci vybraného měřidla, která nám posloužila jako základ výpočtu této složky nejistoty. Následně jsme provedli úvahu nad všemi složkami nejistoty typu B , které nám do procesu vstupují, a provedli dílčí výpočty všech těchto složek. Z vypočtených složek nejistoty typu B se vypočítala celková nejistota typu B pro všechny zvolené skupiny měření. Po získání hodnot nejistot typu A i B jsme z těchto hodnot vypočítali standardní rozšířenou nejistotu U .

Po získání hodnot nejistoty měření jsme provedli sadu měření pro všechny vybrané skupiny.

Vyhodnocení použitelnosti měrového systému se provedlo na základě získaných dat (nejistota měření a způsobilost měření) a ve většině případů se nám potvrdila provázanost těchto dat.

4.1 Kalibrace měřidel

Provedením kalibrace bylo zjištěno, zda měřidlo odpovídá předepsaným standardům, a jeho výsledky byly využity při určení nejistoty měření. Kalibrace byla provedena u vybraných měřidel uvedených v tabulce číslo 9. Protože se u všech vybraných měření používá pouze posuvného měřidla digitálního, byla provedena kalibrace u digitálních posuvek vyskytujících se v dané části obrobny. U digitálních posuvek byly kontrolovány všechny měřící části a vlastní kalibrace se řídila postupem uvedeným v kapitole 1.4. Pro zajištění stabilního procesu měření jsme všechny kalibrace provedli na měrovém středisku.

Kalibrace digitální posuvky

Jako kalibračního zařízení bylo použito koncových měrek značky SOMET a příložného pravítka. Při provedení rozměrové kontroly jsme měřili:

Rovinnost

- měřila se pomocí příložného pravítka.

Rovnoběžnost měřících ploch

- kontrolovala se na průsvit při dorazu měřících čelistí. V případě odchylky rovnoběžnosti měřících ploch by se kontrolovaly pomocí kalibračních kolíků na různých místech po celé délce měřících čelistí. Rovnoběžnost byla kontrolována i při dotažení aretačního zařízení.

Chyba měření

- se měří pomocí koncových měrek a kalibračního kroužku.

Tabulka č.9: Seznam kalibrovaných měřidel

Typ měřidla	Rozsah měřidla	Evidenční číslo měřidla
Digitální posuvné měřidlo	0 – 150 mm	3 919
Digitální posuvné měřidlo	0 – 150 mm	3 920
Digitální posuvné měřidlo	0 – 150 mm	3 924
Digitální posuvné měřidlo	0 – 150 mm	3 926
Digitální posuvné měřidlo	0 – 150 mm	3 928

4.2 Určení nejistoty měření

Při určení nejistoty jsme se řídili dle postupu uvedeném v kapitole 1.1.5 a jako výchozí data pro určení nejistoty typu *A* nám posloužily výsledky měření získané při kalibraci měřidla. Pro všechny výpočty nejistot jsme uvažovali s pravděpodobností 95%. Ve výpočtu nejistoty jsme neuvažovali s nepřesností obrobku.

Protože jsme prověřovali pouze posuvná digitální měřidla, tak nejistotu *typu A* jsme vypočítali pro všechna měřidla u všech tří částí posuvných částí (čelisti, hroty a hloubkoměr). Pro další počítání byla užita nejhorší z vypočtených hodnot, a to z důvodu rotace zaměstnanců na obrobně. Ta má za následek, že si každý ze zaměstnanců přenáší „vlastní“ posuvné měřidlo s sebou na pracoviště.

4.2.1 Stanovení nejistoty posuvného měřidla digitálního 5327

1. Standardní nejistota typu *A* – u_A

Pro zjištění nejistot *typu* u_A byla provedena sada měření koncových měrek jmenovitých rozměrů, které jsou zaznamenány v tabulkách číslo 10-14. V našem případě se jedná o měření rozměrů 1mm, 10mm 20mm 41,3mm, 70mm, 100mm 131,4mm a 150mm. Každá z uvedených hodnot byla měřena 10x.

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Tabulka č.10: Naměřené hodnoty posuvkou 3919

Naměřené hodnoty digitální posuvky 3919												
Rozměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	u_A
1mm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0010
10mm	9,98	9,98	9,99	9,99	10,00	9,98	10,00	10,00	10,00	10,00	9,99	0,0029
20mm	19,99	19,99	20,00	20,01	20,00	20,00	19,99	20,00	20,00	20,00	20,00	0,0020
41,3mm	41,30	41,29	41,29	41,30	41,29	41,30	41,29	41,28	41,30	41,29	41,29	0,0021
70mm	69,98	69,99	69,99	70,00	69,99	70,00	70,00	69,99	70,01	69,99	69,99	0,0027
100mm	100,00	99,99	99,99	100,00	99,98	99,99	100,01	100,00	99,99	99,98	99,99	0,0030
131,4mm	131,39	131,40	131,39	131,38	131,40	131,39	131,39	131,40	131,39	131,40	131,39	0,0021
150mm	150,01	150,01	150,00	150,01	150,02	150,01	150,00	150,00	150,01	150,00	150,01	0,0021
Hroty												
20mm	19,97	19,98	19,98	19,99	20,00	20,01	19,99	20,00	19,98	20,00	19,99	0,0039
Hloubkoměr												
75mm	75,00	75,01	75,01	75,02	74,99	75,03	75,00	74,98	75,01	75,02	75,01	0,0047

Tabulka č.11: Naměřené hodnoty posuvkou 3920

Naměřené hodnoty digitální posuvky 3920												
Rozměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	u_A
1mm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0000
10mm	10,00	10,00	9,99	10,00	9,99	10,00	10,00	10,00	9,99	10,00	10,00	0,0015
20mm	20,00	19,99	20,00	20,00	19,99	20,00	19,99	20,00	20,00	20,00	20,00	0,0015
41,3mm	41,30	41,30	41,31	41,30	41,29	41,29	41,30	41,29	41,30	41,29	41,30	0,0021
70mm	70,00	70,00	69,99	70,00	69,99	69,99	69,98	69,99	69,99	70,00	69,99	0,0021
100mm	99,99	99,98	99,99	99,98	100,00	99,98	99,99	99,98	100,00	100,00	99,99	0,0028
131,4mm	131,39	131,39	131,38	131,40	131,39	131,38	131,38	131,39	131,39	131,40	131,39	0,0023
150mm	150,00	149,99	149,99	149,97	149,98	149,99	149,98	149,99	150,00	149,99	149,99	0,0029
Hroty												
20mm	19,98	20,00	19,99	19,99	19,97	19,98	19,99	19,99	20,01	19,99	19,99	0,0035
Hloubkoměr												
75mm	75,03	75,00	75,01	75,00	74,98	75,00	74,99	74,99	75,00	75,01	75,00	0,0043

Tabulka č.12: Naměřené hodnoty posuvkou 3924

Naměřené hodnoty digitální posuvky 3924												
Rozměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	u_d
1mm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0010
10mm	10,00	10,01	10,01	10,00	10,00	10,01	10,00	10,00	10,01	10,00	10,00	0,0016
20mm	20,01	20,00	20,00	19,99	20,00	20,01	20,00	20,00	19,99	20,00	20,00	0,0021
41,3mm	41,30	41,30	41,28	41,30	41,29	41,30	41,30	41,31	41,30	41,30	41,30	0,0025
70mm	69,99	70,00	70,00	69,99	70,01	70,00	70,01	70,00	70,00	70,01	70,00	0,0023
100mm	100,00	100,01	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	0,0020
131,4mm	131,40	131,42	131,41	131,40	131,40	131,40	131,41	131,40	131,41	131,39	131,40	0,0027
150mm	150,02	150,01	150,02	150,00	150,00	149,99	150,00	150,01	150,00	150,01	150,01	0,0031
Hroty												
20mm	19,99	19,97	19,98	19,98	20,00	19,99	19,99	20,00	20,01	19,99	19,99	0,0037
Hloubkoměr												
75mm	75,00	75,01	75,01	75,03	75,00	75,01	75,00	75,02	75,01	75,02	75,01	0,0031

Tabulka č.13: Naměřené hodnoty posuvkou 392

Naměřené hodnoty digitální posuvky 3926												
Rozměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	u_d
1mm	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0013
10mm	10,00	10,00	10,01	10,00	10,00	9,99	10,00	9,99	10,00	10,00	10,00	0,0018
20mm	20,00	20,00	20,01	20,00	19,99	19,99	20,00	19,99	20,00	20,00	20,00	0,0020
41,3mm	41,31	41,30	41,29	41,29	41,30	41,30	41,30	41,29	41,30	41,30	41,30	0,0020
70mm	70,00	70,00	69,98	69,99	70,00	70,01	70,00	70,01	70,01	70,01	70,00	0,0031
100mm	100,01	100,02	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,0022
131,4mm	131,40	131,41	131,40	131,40	131,39	131,40	131,41	131,40	131,39	131,39	131,40	0,0023
150mm	150,00	149,99	149,99	150,01	150,00	149,99	149,99	149,98	149,98	149,99	149,99	0,0029
Hroty												
20mm	19,98	19,99	19,98	19,98	20,00	19,99	19,99	20,00	20,01	20,00	19,99	0,0033
Hloubkoměr												
75mm	75,02	75,01	75,01	74,99	75,00	75,03	75,02	75,03	75,01	75,01	75,01	0,0040

Tabulka č.14: Naměřené hodnoty posuvkou 3928

Naměřené hodnoty digitální posuvky 3928												
Rozměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	u_d
1mm	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	0,0018
10mm	10,00	10,01	10,01	10,00	10,00	9,99	9,99	9,98	10,00	10,00	10,00	0,0029
20mm	20,01	20,00	20,01	20,00	19,98	20,00	19,99	20,00	20,01	20,00	20,00	0,0030
41,3mm	41,31	41,30	41,29	41,29	41,30	41,30	41,30	41,32	41,30	41,30	41,30	0,0028
70mm	70,00	70,01	70,01	70,00	70,03	70,01	70,02	69,99	70,01	70,00	70,01	0,0036
100mm	99,99	100,01	100,00	100,01	100,01	100,02	100,00	100,02	100,01	100,00	100,01	0,0030
131,4mm	131,42	131,41	131,42	131,43	131,42	131,40	131,41	131,41	131,42	131,40	131,41	0,0031
150mm	150,00	150,02	150,03	150,02	150,01	150,03	150,04	150,03	150,02	150,03	150,02	0,0037
Hroty												
20mm	19,96	19,97	19,97	19,99	19,99	19,98	20,00	19,97	19,99	19,99	19,98	0,0041
Hloubkoměr												
75mm	75,04	75,02	75,01	75,01	74,99	75,00	75,00	75,02	75,01	75,00	75,01	0,0045

S nejistotou měřidla typu A jsme počítali s nejhorší vypočtenou nejistotou z celého kontrolovaného rozsahu měřidla a tyto hodnoty pak zanesli do tabulky číslo 15.

Tabulka č.15: Nejistota typu A pro posuvné měřidlo

Digitální posuvné měřidlo	Nejistota typu A (μm)		
	Čelisti	Hroty	Hloubkoměr
3919	3,0	3,9	4,7
3920	2,9	3,5	4,3
3924	3,1	3,7	3,1
3926	3,1	3,3	4,0
3928	3,7	4,1	4,5
Nejvyšší nejistota u měřidel	3,7	4,1	4,7

2. Standardní nejistota typu B – u_B

Nejistota typu B byla stanovena k vybraným zástupcům pro měření za využití všech tří částí digitální posuvky. V prvním kroku jsme určili okruh dílčích nejistot typu B, ze kterých jsme potom nejistoty typu B pro dané zástupce stanovili:

Kalibrační kroužky nebo koncové měřky

V našem výpočtu nepočítáme s nejistotou koncových měrek či kroužků, a to z důvodu použití pouze digitální posuvky, u které se těchto měřidel využívá při kalibraci a jejichž nejistotu obsahuje vypočtená nejistota typu A. Pokud bychom použili jiné měřidlo např. úchylkoměr pak bychom měli s touto nejistotou počítat, a to proto, že se měrek využívá v některých případech pro nastavení měřidla.

Rovnoběžnost měřících ploch měřidla

Budeme uvažovat tabulkovou hodnotou 0,005 mm.

$$u_{BROV} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{5}{3} \approx 1,67 \mu m$$

Teplotní odchylka

Teplota okolního prostředí a měřeného dílce může dosahovat rozmezí až 10°.

V systému měření se nám vyskytnou dva materiály. To znamená, že měřidlo se bude záviset na teplotě okolí a odlitek může být zahřán až o 10° více. Při výpočtu jsme

počítali s délkovou roztažností pro hliníkové dílce rovnou $23,8 \cdot 10^{-6}$ mm a pro ocelové měřidlo jsme použili koeficient délkové roztažnosti roven $12 \cdot 10^{-6}$ mm. Oba materiály se roztahují rozdílně, proto jsme vypočítali nejistotu tak, že jsme ji propočítali ke kalibrační teplotě 20°C. Maximální rozdíl teplot byl na základě znalostí systému stanoven na 5°C. Mohli bychom při počítání této nejistoty jít u určitých rozměrů složených z několika rozměrů do podrobnější analýzy pro každý rozměr zvlášť, což jsme zamítli, protože vzniklé rozdíly jsou pro nás zanedbatelné vzhledem k výrobním tolerancím. Z toho důvodu jsme se dohodli, že tato nejistota byla stanovena pro předepsaný rozměr bez zohlednění metody měření. U měření při trojúhelníkovém rozdělení teplotní odchylky je nejistota rovna:

Nejistota určena pro rozměr 0,60 mm:

$$u_{BTO} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{\Delta_t * \alpha_1 * l}{2,45} = \frac{5 * 0,0000238 * 0,6}{2,45} \approx 0,029 \mu m$$

$$u_{BTM} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{\Delta_t * \alpha_1 * l}{2,45} = \frac{5 * 0,000012 * 0,6}{2,45} \approx 0,015 \mu m$$

$$u_{BT} = u_{BTO} - u_{BTM} = 0,029 - 0,015 \approx 0,014 \mu m$$

Nejistota určena pro rozměr 3,00 mm: $u_{BT} \approx 0,07 \mu m$

Nejistota určena pro rozměr 6,50 mm: $u_{BT} \approx 0,16 \mu m$

Nejistota určena pro rozměr 9,00 mm: $u_{BT} \approx 0,22 \mu m$

Nejistota určena pro rozměr 39,50 mm: $u_{BT} \approx 0,95 \mu m$

Nejistota určena pro rozměr 56,00 mm: $u_{BT} \approx 1,35 \mu m$

Nejistota určena pro rozměr 70,00 mm: $u_{BT} \approx 1,69 \mu m$

Chyba odečítání

Nejistota odečtení údaje, v našem případě tímto pojmem je míněno automatické zaokrouhlování u digitální setinové posuvky, které je $\pm 0,005 \mu m$ s rovnoměrným rozdělením.

$$u_{BO} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{5}{\sqrt{3}} \approx 2,9 \mu m$$

Měřicí síla

Měřicí síla závisí na operátorovi. Chyba byla odhadnuta na základě výsledků naměřených hodnot pro výpočet způsobilosti. Při normálním rozdělení je nejistota chyby způsobená měřicí silou:

Nejistota určena pro měření čelistmi:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{20}{3} \approx 6,67 \mu m$$

Nejistota určena pro měření hroty:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{30}{3} \approx 10,00 \mu m$$

Nejistota určena pro měření hloubkoměrem:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{20}{3} \approx 6,67 \mu m$$

Chyba metody:

Původně jsme s chybou metody neuvažovali. Až po sledování jednotlivých operátorů jsme při měření různých znaků zjistili, že i přes daný předpis pro měření dochází k drobným rozdílům v dané metodě. Například při měření zahloubení $0,6 + 0,1$ mm bylo vypořádováno, že všichni operátoři správně používají dané měřidlo a rozpor nastal, až když došlo k vlastnímu odečtu hodnoty z měřidla. Jedna část operátorů odečítala hodnotu v momentě, kdy ještě měla dané měřidlo přiložené na měřeném rozměru, a druhá část operátorů měřidlo sundala z měřené oblasti a následně odečetla danou hodnotu. Rozdíl na měření totožného znaku na téže měřidle byl v průměru $+ 0,05$ mm v případě druhé skupiny operátorů. Správně má docházet k odečtu, pokud je měřidlo přiloženo k obrobku. Takovýchto rozporů jsme našli několik.

Nejistota určena pro měření čelistmi:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{20}{3} \approx 6,67 \mu m$$

Nejistota určena pro měření hroty:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{20}{3} \approx 6,67 \mu m$$

Nejistota určena pro měření hloubkoměrem:

$$u_{BS} = \frac{\Delta_{Z_{\max}}}{\kappa} = \frac{50}{3} \approx 16,67 \mu\text{m}$$

Tabulka č.16: Nejistoty typu B

Druhy nejistoty typu B	
Typ nejistoty	Hodnota um
rovnoběžnosti ploch	1,67
způsobena teplotou pro rozměr 0,6 mm	0,014
způsobena teplotou pro rozměr 3,0 mm	0,07
způsobena teplotou pro rozměr 6,5 mm	0,16
způsobena teplotou pro rozměr 9,0 mm	0,22
způsobena teplotou pro rozměr 39,5 mm	0,95
způsobena teplotou pro rozměr 56,0 mm	1,35
způsobena teplotou pro rozměr 70,0 mm	1,69
chyba odečítání	2,90
měřicí síly pro čelisti	6,67
měřicí síly pro hroty	10,00
měřicí síly pro hloubkoměr	6,67
chyba metody měření čelistmi	6,67
chyba metody měření hroty	6,67
chyba metody měření hloubkoměrem	16,67

Určení nejistoty měření daných zástupců:

Při výpočtu celkové nejistoty jsme určili ty typy nejistot z tabulky číslo 16, které nám vstupují do systému měření u daných zástupců při zohlednění použitých metod měření.

Nejistota pro měření rozměru zahloubení 0,6 +0,1 mm.

Tabulka č.17: Analýzy nejistot pro rozměr 0,6

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A		normální	4,70 μm
Rovnoběžnost	5 μm	normální	1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	0,014 μm
Chyba odečítání	5 μm	rovnoměrné	2,90 μm
Měřicí síla	20 μm	normální	6,67 μm

Chyba metody	50 μm	normální	13,34 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			25,14 μm

Zajímavostí je, že pokud bychom stanovili přesný předpis metody měření a zajistili jeho dodržování, pak bychom v nejistotě nemuseli uvažovat s chybou metody měření a celková nejistota by byla $u = 12,29 \mu\text{m}$.

Nejistota pro měření průměru 3 -0,05 mm.

Tabulka č.18: Analýzy nejistot pro průměr 3

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A		normální	4,10 μm
Rovnoběžnost	5 μm	normální	1,67 μm
Teplovní odchylka	5°C	trojúhelníkové	0,07 μm
Chyba odečítání	5 μm	rovnoměrné	2,90 μm
Měřicí síla	30 μm	normální	10,00 μm
Chyba metody	20 μm	normální	6,67 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			21,70 μm

Nejistota pro měření rozměru $6,5 \pm 0,1$.

Tento rozměr se měří nepřímou, proto se nám budou některé nejistoty vyskytovat vícekrát, to znamená:

- 1) nejdříve se změří průměr otvoru pomocí hrotů posuvného měřidla.
- 2) změří se rozměr od kraje odlitku ku nejbližšímu bodu průměru otvoru pomocí čelistí.
- 3) následně k hodnotě naměřené od kraje odlitku přičteme polovinu naměřeného průměru, výsledné číslo nám udává skutečnou hodnotu polohy středu otvoru a kraje odlitku.

Tabulka č.19: Analýzy nejistot pro rozměr 6,5

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A (měření průměru)		normální	4,10 μm
Nejistota typu A (měření od kraje)		normální	3,70 μm
Rovnoběžnost	2 x 5 μm	normální	2 x 1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	2 x 0,16 μm
Chyba odečítání	2 x 5 μm	rovnoměrné	2 x 2,90 μm
Měřicí síla (čelisti)	20 μm	normální	6,67 μm
Měřicí síla (hroty)	30 μm	normální	10,00 μm
Chyba metody	2 x 20 μm	normální	2 x 6,67 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			39,69 μm

Nejistota pro měření rozměru zahloubení 9,00 +0,2 mm.

Tabulka č.20: Analýzy nejistot pro rozměr 9

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A		normální	4,70 μm
Rovnoběžnost	5 μm	normální	1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	0,22 μm
Chyba odečítání	5 μm	rovnoměrné	2,90 μm
Měřicí síla	20 μm	normální	6,67 μm
Chyba metody	50 μm	normální	13,34 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			25,25 μm

Nejistota pro měření průměru 39,5 +0,1 mm.

Tabulka č.21: Analýzy nejistot pro rozměr 39,5

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A		normální	4,10 μm
Rovnoběžnost	5 μm	normální	1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	0,95 μm
Chyba odečítání	5 μm	rovnoměrné	2,90 μm
Měřicí síla	30 μm	normální	10,00 μm
Chyba metody	20 μm	normální	6,67 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			22,56 μm

Nejistota pro měření rozteče $56 \pm 0,1$.

Tento rozměr se měří nepřímo, proto se nám budou některé nejistoty vyskytovat vícekrát:

- 1) nejdříve se změří oba průměry.
- 2) změří se největší či nejmenší vzdálenost krajů otvorů (v našem případě největší)

Tabulka č.22: Analýzy nejistot pro rozměr 56

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A (měření průměru)		normální	4,10 μm
Nejistota typu A (měření průměru)		normální	4,10 μm
Nejistota typu A (měření krajů)	50,43	normální	4,10 μm
Rovnoběžnost	3 x 5 μm	normální	3 x 1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	3 x 1,35 μm
Chyba odečítání	3 x 5 μm	rovnoměrné	3 x 2,90 μm
Měřicí síla	3 x 30 μm	normální	3 x 10,00 μm
Chyba metody	3 x 20 μm	normální	3 x 6,67 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$			68,14 μm

$u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$	
------------------------------------	--

Nejistota pro měření rozměru $70 \pm 0,3$

Tento rozměr se měří nepřímou, proto se nám budou některé nejistoty vyskytovat vícekrát. Metoda je založena na měření průměru otvoru a následném změření rozměru od kraje otvoru ke kraji odlitku. Tuto metodu lze použít pro měření rozměrů, kdy nám otvor leží kolmo na měřený kraj odlitku. Protože v našem případě leží otvor na šikmé ploše, je metoda pro řešení našeho případu nevyhovující. Více informací v kapitole pojednávající o zhodnocení měřidel. Nic nám nebrání určit nejistotu pro měření jako v případě rozměru 6,5 mm tzn. otvoru ležícího v rovině kolmé na měřený kraj odlitku.

Tabulka č.23: Analýzy nejistot pro rozměr 70

Zdroj nejistoty	Odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti	Nejistota
Nejistota typu A (měření průměru)		normální	4,10 μm
Nejistota typu A (měření od kraje)	30,5	normální	3,70 μm
Rovnoběžnost	2 x 5 μm	normální	2 x 1,67 μm
Teplotní odchylka	5°C	trojúhelníkové	2 x 1,69 μm
Chyba odečítání	2 x 5 μm	rovnoměrné	2 x 2,90 μm
Měřicí síla (čelisti)	20 μm	normální	6,67 μm
Měřicí síla (hroty)	30 μm	normální	10,00 μm
Chyba metody	2 x 20 μm	normální	2 x 6,67 μm
Standardní kombinovaná nejistota u pro $k = 1$ $u = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{BZ}^2}$			42,89 μm

Standardní rozšířená nejistota U

$$U_{0,6} = k \cdot u = 2 \cdot 0,02521 \approx 0,050 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota pro měření všech měřených rozměrů byla stanovena pro $k = 2$, což při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95% a zaznamenána do tabulky č.24.

Tabulka č.24: Standardní nejistoty měření pro dané skupiny rozměrů

Měřený rozměr	Nejistota měření		
	k	u (μm)	U (mm)
0,6 +0,1	2	25,14	0,053
3,0 +0,05	2	21,70	0,043
6,5 ±0,1	2	39,69	0,079
9,0 +0,2	2	25,25	0,055
39,5 +0,1	2	22,56	0,045
56 ±0,1	2	68,14	0,136
70 ±0,3	2	42,89	0,086

4.3 Stanovení způsobilosti měřidel pomocí metody R&R (GRR)

Pro určení způsobilosti měřidla využijeme metody R&R, které se v podniku využívá k ověření vhodnosti měřidel. Posouzení měřidla touto metodou má smysl pouze ve stabilizovaných podmínkách.

4.3.1 Výpočet způsobilosti pomocí metody R&R

Při určení způsobilosti měřidla jsem postupovali dle pokynů uvedených v kapitole 1.2.3. Způsobilost byla vypočtena pro:

- Posuvné měřidlo digitální 3919 pro rozměr: 0,60 +0,10
9,00 +0,20
- Posuvné měřidlo digitální 3928 pro rozměr: 3,00 -0,05
6,50 ±0,10
39,50 +0,10
56,00 ±0,10
70,00 ±0,30

4.3.1.1 Výpočet způsobilosti měřidla 3919 pro rozměr 0,60 +0,1 mm

Tabulka č.25: Naměřené hodnoty rozměru 0,6 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	operátor k=1...z
A	1	0,63	0,72	0,75	0,68	0,72	0,73	0,68	0,70	0,68	0,68	UCL (mm)	0,70
	2	0,67	0,69	0,68	0,70	0,69	0,72	0,71	0,69	0,73	0,67	LCL (mm)	0,60
	3	0,72	0,71	0,73	0,70	0,66	0,68	0,72	0,68	0,71	0,70	TOLERANCE	0,10
Průměr		0,67	0,71	0,72	0,69	0,69	0,71	0,70	0,69	0,71	0,68	0,698	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,09	0,03	0,07	0,02	0,06	0,05	0,04	0,02	0,05	0,03	0,046	$R_a =$
B	1	0,59	0,6	0,6	0,65	0,64	0,65	0,64	0,69	0,69	0,68		
	2	0,6	0,58	0,61	0,64	0,63	0,66	0,65	0,68	0,69	0,69		
	3	0,59	0,59	0,6	0,64	0,64	0,65	0,64	0,68	0,68	0,68		
Průměr		0,59	0,59	0,60	0,64	0,64	0,65	0,64	0,68	0,69	0,68	0,642	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011	$R_b =$
C	1	0,58	0,59	0,59	0,66	0,65	0,64	0,64	0,69	0,69	0,7		
	2	0,59	0,58	0,6	0,65	0,63	0,65	0,65	0,69	0,68	0,69		
	3	0,58	0,6	0,61	0,66	0,64	0,65	0,65	0,67	0,69	0,68		
Průměr		0,58	0,59	0,60	0,66	0,64	0,65	0,65	0,68	0,69	0,69	0,642	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,015	$R_c =$
Průměr pro díl		0,62	0,63	0,64	0,66	0,66	0,67	0,66	0,69	0,69	0,69	0,661	$\bar{x}_{\bar{x}} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_G}$		0,024			$KpDIF = (\max \bar{x}_{a,z} - \min \bar{x}_{a,z})$			$R_p = (\max \bar{x}_{a,z} - \min \bar{x}_{a,z})$			Počet vzorků		10
					0,056			0,077			Počet měření		3
											Počet operátorů		3
$\bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i$		0,0142			$AV = \sqrt{\frac{20GRR^2 + K_1^2}{n \cdot k}}$			0,0292			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		1,0
$PV = R_p \cdot K_1$		0,0241			$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0404			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		80,25%
$\tau = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0167			$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0324			$\%GRR = \frac{GRR}{\tau} \cdot 100$		194,65%

4.3.1.2 Výpočet způsobilosti měřidla 3928 pro průměr 3,00 mm

Tabulka č.26: Naměřené hodnoty rozměru 3 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	operátor k=1...z
A	1	2,97	2,96	2,97	2,96	2,97	2,96	2,96	2,97	2,96	2,96	UCL (mm)	3,00
	2	2,98	2,96	2,96	2,98	2,97	2,97	2,96	2,96	2,97	2,96	LCL (mm)	2,95
	3	2,97	2,97	2,95	2,96	2,96	2,95	2,97	2,96	2,97	2,96	TOLERANCE	0,05
Průměr		2,97	2,96	2,96	2,97	2,97	2,96	2,96	2,96	2,97	2,96	2,964	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,012	$R_a =$
B	1	2,94	2,99	2,94	2,94	2,97	2,95	2,95	2,97	2,98	2,98		
	2	2,96	2,95	2,97	2,97	2,95	2,96	2,96	2,98	2,96	2,97		
	3	2,95	2,97	2,96	2,95	2,95	2,97	2,96	2,96	2,97	2,95		
Průměr		2,95	2,97	2,96	2,95	2,96	2,96	2,96	2,97	2,97	2,97	2,961	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,024	$R_b =$
C	1	2,96	2,95	2,96	2,97	2,95	2,96	2,96	2,96	2,96	2,98		
	2	2,97	2,95	2,95	2,97	2,96	2,96	2,97	2,96	2,96	2,97		
	3	2,96	2,97	2,96	2,95	2,96	2,96	2,97	2,96	2,95	2,97		
Průměr		2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,97	2,96	2,96	2,97	2,961	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,010	$R_c =$
Průměr pro díl		2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,97	2,962	$\bar{x}_{\bar{x}} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_G}$		0,015			$KpDIF = (\max \bar{x}_{a,z} - \min \bar{x}_{a,z})$			$R_p = (\max \bar{x}_{a,z} - \min \bar{x}_{a,z})$			Počet vzorků		10
					0,003			0,009			Počet měření		3
											Počet operátorů		3
$\bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i$		0,0091			$AV = \sqrt{\frac{20GRR^2 + K_1^2}{n \cdot k}}$			0,0006			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		0,4
$PV = R_p \cdot K_1$		0,0028			$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0095			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		95,57%
$\tau = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0083			$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0091			$\%GRR = \frac{GRR}{\tau} \cdot 100$		108,91%

4.3.1.3 Výpočet způsobilosti měřidla 3928 pro rozměr 6,50 mm

Tabulka č.27: Naměřené hodnoty rozměru 6,5 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
												operátor k=1...z	
A	1	6,62	6,58	6,61	6,61	6,57	6,55	6,63	6,60	6,56	6,60	UCL (mm)	6,60
	2	6,60	6,59	6,62	6,63	6,59	6,63	6,61	6,59	6,60	6,58	LCL (mm)	6,40
	3	6,62	6,61	6,62	6,58	6,60	6,59	6,62	6,61	6,57	6,59	TOLERANCE	0,20
Průměr		6,61	6,59	6,62	6,61	6,59	6,59	6,62	6,60	6,58	6,59	$\bar{x}_a =$	
Rozpětí		0,02	0,03	0,01	0,05	0,03	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,032	$R_a =$
B	1	6,63	6,56	6,57	6,66	6,61	6,63	6,59	6,62	6,58	6,60		
	2	6,62	6,58	6,64	6,61	6,57	6,66	6,62	6,63	6,63	6,64		
	3	6,66	6,68	6,65	6,66	6,62	6,64	6,63	6,60	6,59	6,61		
Průměr		6,64	6,61	6,62	6,64	6,60	6,64	6,61	6,62	6,60	6,62	6,620	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,04	0,12	0,08	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,053	$R_b =$
C	1	6,68	6,55	6,63	6,60	6,62	6,57	6,57	6,60	6,57	6,59		
	2	6,62	6,58	6,63	6,59	6,60	6,66	6,59	6,56	6,57	6,58		
	3	6,63	6,58	6,61	6,60	6,56	6,57	6,59	6,62	6,61	6,59		
Průměr		6,64	6,57	6,62	6,60	6,59	6,60	6,58	6,59	6,58	6,59	6,597	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,06	0,03	0,02	0,01	0,06	0,09	0,02	0,06	0,04	0,01	0,040	$R_c =$
Průměr pro díl		6,63	6,59	6,62	6,62	6,59	6,61	6,61	6,60	6,59	6,60	6,605	$\bar{x}_{\bar{x}_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_O}$		0,042				$\bar{XpDIF} = (\max \bar{x}_{i,j} - \min \bar{x}_{i,j})$			$\bar{R}_p = (\max \bar{x}_{p,i} - \min \bar{x}_{p,i})$			Počet vzorků	10
						0,022			0,044			Počet měření	3
												Počet operátorů	3
$EV = \bar{x} \pm k \cdot \bar{s} \quad k=1$		0,0246				$AV = \sqrt{(3pDIF + K2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}}$			0,0108			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$	0,7
$PV = \bar{R}_i \cdot K_1$		0,0140				$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0303			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$	88,71%
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0269			$\%GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100$	80,62%

4.3.1.4 Výpočet způsobilosti měřidla 3919 pro rozměr 9,00 mm

Tabulka č.28: Naměřené hodnoty rozměru 9 digitální posuvkou 3919

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
												operátor k=1...z	
A	1	9,14	9,08	9,07	9,02	9,06	9,14	9,16	9,18	9,10	9,12	UCL (mm)	9,20
	2	9,08	9,06	9,12	9,10	9,15	9,17	9,13	9,05	9,06	9,00	LCL (mm)	9,00
	3	9,06	9,08	9,04	9,03	9,10	9,17	9,13	9,15	9,11	9,12	TOLERANCE	0,20
Průměr		9,09	9,07	9,08	9,05	9,10	9,16	9,14	9,13	9,09	9,08	9,099	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,08	0,02	0,08	0,08	0,09	0,03	0,03	0,13	0,05	0,12	0,071	$R_a =$
B	1	9,12	9,03	9,00	9,07	9,05	9,06	9,05	9,05	9,11	9,08		
	2	9,07	9,14	9,09	9,04	9,11	9,04	9,09	9,01	9,16	9,02		
	3	9,01	9,03	9,05	9,00	9,12	9,14	9,18	9,09	9,11	9,06		
Průměr		9,07	9,07	9,05	9,04	9,09	9,08	9,11	9,05	9,13	9,05	9,073	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,11	0,11	0,09	0,07	0,07	0,10	0,13	0,08	0,05	0,06	0,087	$R_b =$
C	1	9,07	9,04	9,05	9,07	9,09	9,06	9,02	9,08	9,06	9,02		
	2	9,04	9,06	9,06	9,08	9,04	9,03	9,09	9,05	9,07	9,05		
	3	9,06	9,04	9,03	9,06	9,02	9,05	9,09	9,06	9,06	9,04		
Průměr		9,06	9,05	9,05	9,07	9,05	9,05	9,07	9,06	9,06	9,04	9,055	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,03	0,02	0,03	0,02	0,07	0,03	0,07	0,03	0,01	0,03	0,034	$R_c =$
Průměr pro díl		9,07	9,06	9,06	9,05	9,08	9,10	9,10	9,08	9,09	9,06	9,076	$\bar{x}_{\bar{x}_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_O}$		0,064				$\bar{XpDIF} = (\max \bar{x}_{i,j} - \min \bar{x}_{i,j})$			$\bar{R}_p = (\max \bar{x}_{p,i} - \min \bar{x}_{p,i})$			Počet vzorků	10
						0,045			0,052			Počet měření	3
												Počet operátorů	3
$EV = \bar{x} \pm k \cdot \bar{s} \quad k=1$		0,0378				$AV = \sqrt{(3pDIF + K2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}}$			0,0223			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$	0,5
$PV = \bar{R}_i \cdot K_1$		0,0164				$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0469			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$	93,66%
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0439			$\%GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100$	131,73%

4.3.1.5 Výpočet způsobilosti měřidla 3928 pro rozměr 39,50 mm

Tabulka č.29: Naměřené hodnoty rozměru 39,5 digitální posuvkou 3919

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
		operátor k=1...z											
A	1	39,51	39,51	39,48	39,50	39,52	39,52	39,52	39,51	39,52	39,53	UCL (mm)	39,60
	2	39,52	39,50	39,47	39,49	39,50	39,50	39,50	39,49	39,50	39,51	LCL (mm)	39,50
	3	39,52	39,48	39,49	39,50	39,52	39,48	39,50	39,52	39,51	39,52	TOLERANCE	0,10
Průměr		39,52	39,50	39,48	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,51	39,52	39,505	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,022	$R_a =$
B	1	39,51	39,50	39,52	39,52	39,53	39,51	39,52	39,53	39,53	39,52		
	2	39,51	39,53	39,50	39,51	39,50	39,49	39,52	39,51	39,50	39,50		
	3	39,52	39,50	39,51	39,49	39,52	39,50	39,51	39,51	39,51	39,51		
Průměr		39,51	39,51	39,51	39,51	39,52	39,50	39,52	39,52	39,51	39,51	39,511	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,022	$R_b =$
C	1	39,53	39,52	39,50	39,51	39,51	39,51	39,52	39,50	39,53	39,51		
	2	39,51	39,52	39,50	39,51	39,49	39,50	39,50	39,51	39,51	39,52		
	3	39,51	39,53	39,49	39,49	39,51	39,52	39,50	39,51	39,52	39,50		
Průměr		39,52	39,52	39,50	39,50	39,50	39,51	39,51	39,51	39,52	39,51	39,510	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,017	$R_c =$
Průměr pro díl		39,52	39,51	39,50	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,51	39,51	39,509	$\bar{x}_{P_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,020			$\hat{X}_{pDIF} = (\max \hat{x}_{i,j,z} - \min \hat{x}_{i,j,z})$			$R_p = (\max \bar{x}_{P_i} - \min \bar{x}_{P_i})$			Počet vzorků	10	
					0,007			0,020			Počet měření	3	
											Počet operátorů	3	
$EV = \bar{R}_a + K_1$		0,0120			$AV = \sqrt{(\hat{\sigma}_{pDIF} + K_2)^2 + \frac{EV^2}{n \cdot r}}$			0,0027			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		0,7
$PV = \bar{R}_a + K_3$		0,0063			$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0138			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		89,05%
$\tau = \frac{UCL - LCL}{\delta}$		0,0167			$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0123			$\%GRR = \frac{GRR}{\tau} \cdot 100$		73,89%

4.3.1.6 Výpočet způsobilosti měřidla 3928 pro rozměr 56,00

Tabulka č.30: Naměřené hodnoty rozměru 56 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
		operátor k=1...z											
A	1	56,16	55,94	56,06	56,00	56,05	55,94	56,03	56,07	56,12	56,08	UCL (mm)	56,10
	2	56,07	56,02	55,98	56,14	56,08	56,00	56,01	56,07	56,09	56,11	LCL (mm)	55,90
	3	56,13	56,03	56,00	56,10	56,07	56,02	56,02	56,05	56,08	56,06	TOLERANCE	0,20
Průměr		56,12	56,00	56,01	56,08	56,07	55,99	56,02	56,06	56,10	56,08	56,053	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,09	0,09	0,08	0,14	0,03	0,08	0,02	0,02	0,04	0,05	0,064	$R_a =$
B	1	56,13	55,96	55,96	56,13	56,08	55,96	55,99	56,05	56,10	56,08		
	2	56,04	56,04	56,02	56,14	56,04	55,99	56,04	56,03	56,12	56,11		
	3	56,08	56,01	56,60	56,08	56,10	56,02	56,03	56,07	56,08	56,06		
Průměr		56,08	56,00	56,19	56,12	56,07	55,99	56,02	56,05	56,10	56,08	56,071	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,09	0,08	0,64	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,117	$R_b =$
C	1	56,12	55,96	55,96	56,11	56,03	55,95	55,98	56,10	56,09	56,07		
	2	56,15	55,99	55,92	56,10	56,06	55,95	56,03	56,05	56,09	56,09		
	3	56,08	55,97	55,92	56,16	56,01	55,96	56,00	56,08	56,11	56,10		
Průměr		56,12	55,97	55,93	56,12	56,03	55,95	56,00	56,08	56,10	56,09	56,040	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,07	0,03	0,04	0,06	0,05	0,01	0,05	0,05	0,02	0,03	0,041	$R_c =$
Průměr pro díl		56,11	55,99	56,05	56,11	56,06	55,98	56,01	56,06	56,10	56,08	56,055	$\bar{x}_{P_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,074			$\hat{X}_{pDIF} = (\max \hat{x}_{i,j,z} - \min \hat{x}_{i,j,z})$			$R_p = (\max \bar{x}_{P_i} - \min \bar{x}_{P_i})$			Počet vzorků	10	
					0,032			0,130			Počet měření	3	
											Počet operátorů	3	
$EV = \bar{R}_a + K_1$		0,0437			$AV = \sqrt{(\hat{\sigma}_{pDIF} + K_2)^2 + \frac{EV^2}{n \cdot r}}$			0,0145			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		1,3
$PV = \bar{R}_a + K_3$		0,0409			$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0616			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		74,78%
$\tau = \frac{UCL - LCL}{\delta}$		0,0333			$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0461			$\%GRR = \frac{GRR}{\tau} \cdot 100$		138,20%

4.3.1.7 Výpočet způsobilosti měřidla 3928 pro rozměr 70,00

Tabulka č.31: Naměřené hodnoty rozměru 70 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r operátor k=1...z	
A	1	69,60	69,72	69,74	69,58	69,57	69,59	69,62	69,62	69,58	69,74	UCL (mm)	70,30
	2	69,64	69,68	69,74	69,60	69,56	69,57	69,63	69,56	69,58	69,74	LCL (mm)	69,70
	3	69,68	69,65	69,70	69,58	69,61	69,56	69,66	69,58	69,54	69,69	TOLERANCE	0,60
Průměr		69,64	69,68	69,73	69,59	69,58	69,57	69,64	69,59	69,57	69,72	69,630	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,08	0,07	0,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05	0,048	$R_a =$
B	1	69,67	69,67	69,71	69,55	69,60	69,61	69,61	69,63	69,58	69,70		
	2	69,68	69,70	69,70	69,60	69,62	69,58	69,68	69,58	69,60	69,72		
	3	69,64	69,64	69,68	69,61	69,58	69,59	69,65	69,61	69,56	69,75		
Průměr		69,66	69,67	69,70	69,59	69,60	69,59	69,65	69,61	69,58	69,72	69,637	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,04	0,06	0,03	0,06	0,04	0,03	0,07	0,05	0,04	0,05	0,047	$R_b =$
C	1	69,64	69,71	69,72	69,60	69,63	69,56	69,65	69,60	69,55	69,77		
	2	69,61	69,68	69,73	69,61	69,62	69,64	69,60	69,63	69,56	69,77		
	3	69,65	69,70	69,68	69,63	69,61	69,58	69,61	69,62	69,60	69,70		
Průměr		69,63	69,70	69,71	69,61	69,62	69,59	69,62	69,62	69,57	69,75	69,642	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,08	0,05	0,03	0,05	0,07	0,045	$R_c =$
Průměr pro díl		69,65	69,68	69,71	69,60	69,60	69,59	69,63	69,60	69,57	69,73	69,636	$\bar{x}_{p_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,047			$\bar{X}_{pDIF} = (\max \bar{x}_{i,j,z} - \min \bar{x}_{i,j,z})$			$R_p = (\max \bar{x}_{i,z} - \min \bar{x}_{i,z})$			Počet vzorků	10	
$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$		0,012			0,012			0,159			Počet měření	3	
$EV = \bar{x} + k \cdot \sigma$		0,0276			$AV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$			0,0035			$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		2,5
$PV = R_{i,j} \cdot K_i$		0,0500			$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			0,0572			$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		48,59%
$\tau = \frac{UCL - LCL}{\delta}$		0,1000			$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			0,0278			$\%GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100$		27,79%

4.4 Vyhodnocení měřidel pro vybrané skupiny

Když jsme analyzovali výsledky, které nám vyšly u daných skupin jak z pohledu nejistoty měření tak z pohledu způsobilosti, došli jsme k názoru, že jako základní měřidlo nelze digitální posuvné měřidlo použít u žádné ze skupin a bude zapotřebí systémy měření změnit. To nám potvrzuje i obecné pravidlo říkající, že by měřidlo mělo být o řád přesnější, než je měřený parametr.

V níže uvedené tabulce číslo 32 je uveden přehled výsledků měřidel na jejich nejistotu a způsobilost.

Tabulka č.32: Tabulka vyhodnocení skupin měření

	Rozměr	Měřidlo	Nejistota $U(\text{mm})$	Způsobilost $(\%GRR)TV$	Způsobilost $(\%GRR)T$	Hodnocení
č.1	56,00±0,1	Posuvné měřidlo	0,136	74,78%	138,20%	NEVYHOVUJE
č.2	3,00-0.05	Posuvné měřidlo	0,043	95,57%	108,91%	NEVYHOVUJE
č.2	39,50+0,1	Posuvné měřidlo	0,045	89,05%	73,89%	NEVYHOVUJE
č.4	0,60+0,1	Posuvné měřidlo	0,053	80,25%	194,65%	NEVYHOVUJE
č.4	9,00+0,2	Posuvné měřidlo	0,055	93,66%	131,73%	NEVYHOVUJE
č.5	6,50±0,1	Posuvné měřidlo	0,079	88,71%	80,62%	NEVYHOVUJE
č.6	70,00±0,3	Posuvné měřidlo	0,086	48,59%	27,79%	NEVYHOVUJE

4.4.1 Vyhodnocení skupiny č.1 (rozteč otvorů)

Ve většině případů rozměrů této skupiny je použita výrobní tolerance $\pm 0,1$ mm. Jak je patrné z vypočtených hodnot U a $\%GRR$, je měřicí systém uznán jako nevyhovující. Nejistota měření zabírá více jak polovinu výrobní tolerance.

4.4.2 Vyhodnocení skupiny č.2 (vnitřní průměr)

Tato skupina se vyznačuje velkou škálou rozměrů i výrobních tolerancí, proto jsme se při hodnocení využití digitálního posuvného měřidla pro tuto skupinu neomezovali jen na testované výrobní tolerance, ale pokusili jsme se určit hranice, od kdy lze toto měřidlo použít. Nejistota měření byla vypočtena na cca. 0,04 – 0,05 mm. Tato nejistota se rovná značné části výrobní tolerance a i způsobilost měřicího systému je nevyhovující, proto měřidlo označujeme jako nevyhovující.

Vyhodnocení vlivu tolerance

Pro odhad pro jakou výrobní toleranci by byl měřicí systém vyhovující, využijeme naměřených hodnot a tyto hodnoty otestujeme pro širší výrobní toleranci. Tento pokus nám řekne pro jakou výrobní toleranci můžeme systém použít. Protože jsme zkoumali pouze malou část z celkového rozsahu měřidla, je tento výsledek platný jen pro zkoumaný rozsah, pro zbytek rozsahu je pouze orientační.

Tabulka č.33: Tabulky vyhodnocení pro rozsahy tolerancí

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r operátor k=1...z	
A	1	39,51	39,51	39,48	39,50	39,52	39,52	39,52	39,51	39,52	39,53	UCL (mm)	40,30
	2	39,52	39,50	39,47	39,49	39,50	39,50	39,49	39,50	39,51		LCL (mm)	39,50
	3	39,52	39,48	39,49	39,50	39,52	39,48	39,50	39,52	39,51	39,52	TOLERANCE	0,80
Průměr		39,52	39,50	39,48	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,52	39,52	39,505	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,022	$R_a =$
B	1	39,51	39,50	39,52	39,52	39,53	39,51	39,52	39,53	39,53	39,52		
	2	39,51	39,53	39,50	39,51	39,50	39,49	39,52	39,51	39,50	39,50		
	3	39,52	39,50	39,51	39,49	39,52	39,50	39,51	39,51	39,51	39,51		
Průměr		39,51	39,51	39,51	39,51	39,52	39,50	39,52	39,52	39,51	39,51	39,511	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,022	$R_b =$
C	1	39,53	39,52	39,50	39,51	39,51	39,52	39,50	39,53	39,51			
	2	39,51	39,52	39,50	39,51	39,49	39,50	39,50	39,51	39,51	39,52		
	3	39,51	39,53	39,49	39,49	39,51	39,52	39,50	39,51	39,52	39,50		
Průměr		39,52	39,52	39,50	39,50	39,50	39,51	39,51	39,52	39,51		39,510	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02		0,017	$R_c =$
Průměr pro díl		39,52	39,51	39,50	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,51		39,509	$\bar{x}_p =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,020				0,007				0,020			
$EV = \bar{x} + 3s$		0,0120				0,0027				ndc = 1,41($\frac{PV}{GRR}$)			
$PV = \bar{R}_0 + K_1$		0,0063				0,0138				%GRR = $\frac{GRR}{TV} * 100$			
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,1333				0,0123				%GRR = $\frac{GRR}{T} * 100$			

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r operátor k=1...z	
A	1	39,51	39,51	39,48	39,50	39,52	39,52	39,52	39,51	39,52	39,53	UCL (mm)	39,80
	2	39,52	39,50	39,47	39,49	39,50	39,50	39,49	39,50	39,51		LCL (mm)	39,50
	3	39,52	39,48	39,49	39,50	39,52	39,48	39,50	39,52	39,51	39,52	TOLERANCE	0,30
Průměr		39,52	39,50	39,48	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,52	39,52	39,505	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,022	$R_a =$
B	1	39,51	39,50	39,52	39,52	39,53	39,51	39,52	39,53	39,53	39,52		
	2	39,51	39,53	39,50	39,51	39,50	39,49	39,52	39,51	39,50	39,50		
	3	39,52	39,50	39,51	39,49	39,52	39,50	39,51	39,51	39,51	39,51		
Průměr		39,51	39,51	39,51	39,51	39,52	39,50	39,52	39,52	39,51	39,51	39,511	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,022	$R_b =$
C	1	39,53	39,52	39,50	39,51	39,51	39,52	39,50	39,53	39,51			
	2	39,51	39,52	39,50	39,51	39,49	39,50	39,50	39,51	39,51	39,52		
	3	39,51	39,53	39,49	39,49	39,51	39,52	39,50	39,51	39,52	39,50		
Průměr		39,52	39,52	39,50	39,50	39,50	39,51	39,51	39,52	39,51		39,510	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02		0,017	$R_c =$
Průměr pro díl		39,52	39,51	39,50	39,50	39,51	39,50	39,51	39,51	39,51		39,509	$\bar{x}_p =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,020				0,007				0,020			
$EV = \bar{x} + 3s$		0,0120				0,0027				ndc = 1,41($\frac{PV}{GRR}$)			
$PV = \bar{R}_0 + K_1$		0,0063				0,0138				%GRR = $\frac{GRR}{TV} * 100$			
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0500				0,0123				%GRR = $\frac{GRR}{T} * 100$			

Jak je patrné z provedeného výpočtu v tabulce číslo 33, je měřící systém stabilní pro širší výrobní tolerance větší než 0,8 mm.

Jako přijatelné měřidlo by se dalo měřidlo použít i pro širší výrobní tolerance 0,3 mm v případě, zda se jedná pouze o nedůležitý rozměr, nebo při zohlednění investičních nákladů.

V obou předchozích výpočtech jsme systémy měření vyhodnotili jako vyhovující i přesto, že %GRR(TV) a ndc vycházejí nevyhovující. Toto rozhodnutí bude odůvodněno později v kapitole věnující se porovnání vyhodnocovacích metod měření.

4.4.3 Vyhodnocení skupiny č.4 (zahlobení)

Při hodnocení této skupiny rozměrů jsme se pozastavili nad hodnotami měření jak rozměru 0,6 mm tak i rozměru 9 mm.

Měření rozměru 0,6 +0,1 mm.

Hodnoty měření tohoto rozměru se vyznačují jednou zvláštností, kterou je to, že u operátorů B a C dosahujeme velice podobných výsledků měření v rozsahu cca. 0,02 mm a u operátora A se průměrná naměřená hodnota pohybuje o 0,05 mm výše.

Po podrobnější analýze všech tří měření jsme zjistili, že příčinou rozdílu naměřených hodnot je rozdílný způsob měření. Zatímco operátoři *B* a *C* odečítali naměřenou hodnotu v době, kdy měli přiložené měřidlo k obrobku (správná metoda), operátor *A* odejmul měřidlo z obrobku a následně odečetl naměřenou hodnotu. Při odejímání měřidla došlo k působení síly na měřidlo a posunu polohy hloubkoměru o cca. 0,05 mm.

Po odhalení této chyby měření jsme se rozhodli o překontrolování způsobilosti měřidla za použití výsledků měření operátorů *B* a *C* a nahrazení měření operátora *A* jinou řadou měření od operátora *D* na totožných dílech jako v předchozím měření a za použití stejné metody měření jako u operátorů *B* a *C*.

Tabulka č.34: Opakované naměřené hodnoty rozměru 0,6 digitální posuvkou 3928

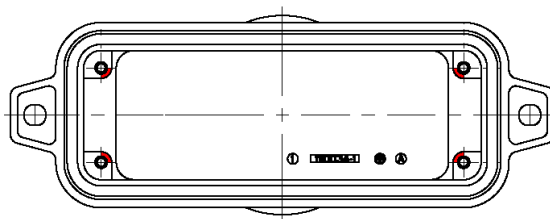
OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...r	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r operátor k=1...x	
D	1	0,6	0,59	0,6	0,65	0,64	0,64	0,65	0,69	0,7	0,69	UCL (mm)	0,70
	2	0,6	0,59	0,61	0,66	0,65	0,65	0,65	0,68	0,69	0,68	LCL (mm)	0,60
	3	0,59	0,58	0,59	0,64	0,65	0,65	0,66	0,7	0,68	0,7	TOLERANCE	0,10
Průměr		0,59	0,59	0,60	0,65	0,65	0,65	0,65	0,69	0,69	0,69	0,645	$\bar{x}_d =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,015	$R_d =$
B	1	0,59	0,6	0,6	0,65	0,64	0,65	0,64	0,69	0,69	0,68		
	2	0,6	0,58	0,61	0,64	0,63	0,66	0,65	0,68	0,69	0,69		
	3	0,59	0,59	0,6	0,64	0,64	0,65	0,64	0,68	0,68	0,68		
Průměr		0,59	0,59	0,60	0,64	0,64	0,65	0,64	0,68	0,69	0,68	0,642	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011	$R_b =$
C	1	0,58	0,59	0,59	0,66	0,65	0,64	0,64	0,69	0,69	0,7		
	2	0,59	0,58	0,6	0,65	0,63	0,65	0,65	0,69	0,68	0,69		
	3	0,58	0,6	0,61	0,66	0,64	0,65	0,65	0,67	0,69	0,68		
Průměr		0,58	0,59	0,60	0,66	0,64	0,65	0,65	0,68	0,69	0,69	0,642	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,015	$R_c =$
Průměr pro díl		0,59	0,59	0,60	0,65	0,64	0,65	0,65	0,69	0,69	0,69	0,643	$\bar{x}_{p1} =$
$\bar{R}_o = \frac{R_d + R_b + R_c}{n_o}$				0,014		$XpDIF = (\max \bar{x}_{1,10} - \min \bar{x}_{1,10})$				$R_p = (\max \bar{x}_{p1} - \min \bar{x}_{p1})$		Počet vzorků	10
						0,003				0,009		Počet operátorů	3
$\bar{I}V = \bar{R} \cdot K_1$		0,0081		$AV = \sqrt{(XpDIF + K2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}}$				0,0005		$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		5,4	
$PV = R_p \cdot K_1$		0,0311		$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$				0,0321		$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		25,17%	
$\tau = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0167		$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$				0,0081		$\%GRR = \frac{GRR}{\tau} \cdot 100$		48,55%	

Výše uvedený pokus zaznamenaný v tabulce číslo 34 nám demonstruje, jak je důležité dodržování a definování postupů měření. Jak je patrné, po doměření třetí sady měření se nám způsobilost systému značně zlepšila, ale i přes zlepšení způsobilosti systému měření jsme měřicí systém vyhodnotili jako nevyhovující, a to pro jeho malou výrobní toleranci a špatně vycházející %GRR(T).

Měření rozměru $9 + 0,2 \text{ mm}$.

Při kontrole naměřených a vypočtených hodnot pro měření zahloubení $9+0,2\text{mm}$ jsme v prvním kroku došli k závěru, že jako v předešlém měření (0,6 mm) došlo k užití různých postupů měření, a proto jsme se rozhodli opětovně prověřit systém měření.

Po kontrole bylo zjištěno, že všichni operátoři používají stejný postup měření a tak jsme se v druhém kroku zaměřili na prověření měřených ploch. Při kontrole plochy, na kterou nám dosedá pohyblivá část hloubkoměru, bylo zjištěno, že tato plocha je odlita pod úkosem 1,5%, který plní funkci vyjímacího úkosu. Tento úkos nám ovlivňuje všechna měření, protože není stanoven měřicí bod, na kterém by se měla provádět všechna měření. Toto zjištění nás vedlo k provedení dalšího měření, při kterém jsme nadefinovali měřicí body, které jsou zobrazeny na obrázku číslo 15. Poloha kontrolního bodu byla určena z technologického hlediska. Následně jsme nechali všechny operátory provést novou řadu měření pro definovaný bod:



Obrázek č.15: Body měření na „podestě“

Tabulka č.35: Opakovaně naměřené hodnoty rozměru 9 digitální posuvkou 3928

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r operátor k=1...z	
A	1	9,06	9,08	9,06	9,02	9,06	9,04	9,06	9,06	9,09	9,04	UCL (mm)	9,20
	2	9,04	9,06	9,06	9,07	9,05	9,07	9,03	9,05	9,06	9,05	LCL (mm)	9,00
	3	9,03	9,03	9,04	9,03	9,07	9,06	9,03	9,03	9,07	9,04	TOLERANCE	0,20
Průměr		9,04	9,06	9,06	9,04	9,06	9,06	9,04	9,05	9,07	9,04	9,052	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,03	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,031	$R_a =$
B	1	9,05	9,03	9,02	9,07	9,05	9,06	9,05	9,05	9,09	9,08		
	2	9,07	9,04	9,06	9,04	9,06	9,04	9,06	9,08	9,06	9,04		
	3	9,03	9,03	9,05	9,03	9,04	9,07	9,08	9,07	9,08	9,06		
Průměr		9,05	9,03	9,04	9,05	9,05	9,06	9,06	9,07	9,08	9,06	9,055	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,04	0,01	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,031	$R_b =$
C	1	9,07	9,04	9,05	9,07	9,07	9,08	9,06	9,08	9,06	9,03		
	2	9,04	9,06	9,06	9,08	9,04	9,03	9,08	9,05	9,07	9,07		
	3	9,06	9,04	9,08	9,06	9,05	9,05	9,05	9,06	9,06	9,04		
Průměr		9,06	9,05	9,06	9,07	9,05	9,05	9,06	9,06	9,06	9,05	9,058	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03	0,01	0,04	0,029	$R_c =$
Průměr pro díl		9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,06	9,06	9,06	9,07	9,05	9,055	$\bar{x}_{F1} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_O}$				0,030		$\hat{X}_{pDIF} = (\max \bar{x}_{a12} - \min \bar{x}_{a12})$		$R_p = (\max \bar{x}_{p1} - \min \bar{x}_{p1})$		$\frac{\text{Počet vzorků}}{\text{Počet měření}}$		10	
						0,006		0,026		$\frac{\text{Počet operátorů}}{\text{Počet měření}}$		3	
$\bar{E}V = \hat{k} * K_1$		0,0179	$\hat{A}V = \sqrt{3pDIF^2 + K_2^2 - \frac{\bar{E}V^2}{n * F}}$				0,0005	$ndc = 1,41(\frac{PV}{GRR})$		0,6			
$PV = R_p * K_3$		0,0080	$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$				0,0196	$\%GRR = \frac{GRR}{TV} * 100$		91,25%			
$\hat{T} = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$				0,0179	$\% GRR = \frac{GRR}{T} * 100$		53,79%			

Po doplnění kontrolních bodů došlo k značnému zlepšení systému měření, jak je uvedeno v tabulce číslo 35, ale i přes dosažené zlepšení jsme vyhodnotili tento systém jako nevyhovující a to z důvodu vysoké nejistoty a způsobilosti měření.

4.4.5 Vyhodnocení skupiny č.5

Skupina se metodou měření podobá skupině č.1, tak že se i zde výsledný rozměr skládá z několika měření, proto i v tomto měření se výsledná nejistota zvyšuje. Standardně se rozměry této skupiny vyrábí ve výrobní toleranci $\pm 0,1\text{mm}$. Skutečnost, že se vyráběný rozměr neměří přímo, ale pomocí skládání měření, kde se v prvním kroku změří vyráběný průměr a následně minimální vzdálenost okraje průměru ke kraji, nám vnáší uvažovanou nejistotu kolem osmi setin milimetru $\approx 40\%$ výrobní tolerance. Z výsledné nejistoty a způsobilosti měření vyhodnocujeme tento systém jako nevyhovující.

Z porovnání uvedeného v tabulce číslo 36 mezi naším výpočtem a interním programem nám vychází totožnost dat u námi počítaných hodnot a hodnot počítaných exceleem používaným v Tycu.

Dalším porovnáním výsledků, které je zaznamenané v tabulce číslo 37, bylo porovnání s programem Minitab. I zde došlo k potvrzení shody výsledků:

Tabulka č.37: Výsledek %GRR z Minitabu I.

Gage R&R for hodnota

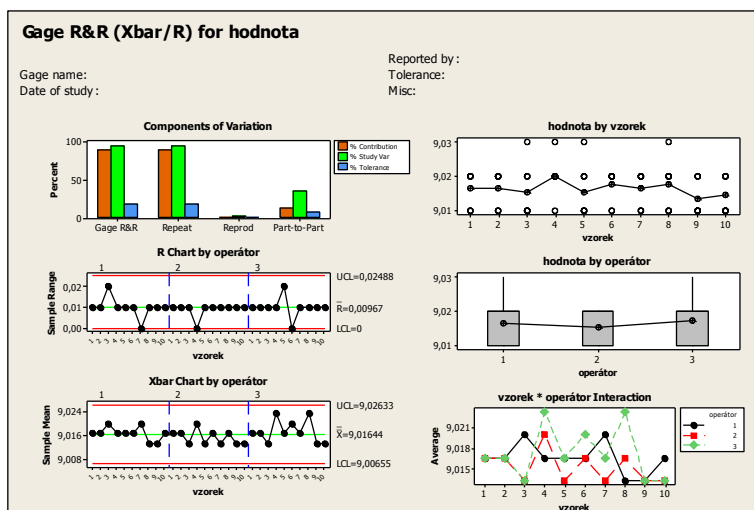
Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000326	88,12
Repeatability	0,0000326	88,10
Reproducibility	0,0000000	0,03
Part-To-Part	0,0000044	11,88
Total Variation	0,0000370	100,00

Process tolerance = 0,2

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0057106	0,0342638	93,87	17,13
Repeatability	0,0057098	0,0342587	93,86	17,13
Reproducibility	0,0000987	0,0005921	1,62	0,30
Part-To-Part	0,0020964	0,0125786	34,46	6,29
Total Variation	0,0060833	0,0364997	100,00	18,25

Number of Distinct Categories = 1



Pokud se podíváme na vypočtené hodnoty, tak nám v tomto případě měřidlo vyšlo jako nevyhovující z pohledu metody %GRR a *ndc* počítaných z variability mezi díly a jako „možná“ přijatelné z pohledu metody %GRR počítané z výrobní tolerance. Tento výsledek je dán skutečností, že sesbírané vzorky nereprezentují celý rozsah výrobní tolerance, jak je tomu v základním požadavku pro metodu %GRR počítanou přes variabilitu dílů. Tato situace může občas nastat a to z několika důvodů, jakými jsou

například, že se jedná o formu a kusy mají odlité rozměry s minimální variabilitou a nebo z časových důvodů, kde je sesbírání vzorků časově náročné atd. V těchto případech doporučujeme použití metody %GRR založené na toleranci.

Pro zajímavost jsme se rozhodli udělat pokus, jak by nám vyšlo %GRR přes variabilitu dílu, pokud bychom měli vzorky v rozsahu výrobní tolerance. Protože žádné vzorky mající rozměr k horní toleranci nemáme, rozhodli jsme se, že poslední měřený díl nahradíme náměrem o hodnotou o 0,17 mm větší, jak je patrné z tabulky číslo 38:

Tabulka č.38: Výsledky testu na způsobilost měřidla

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
A												operátor k=1...z	
	1	9,01	9,01	9,02	9,02	9,01	9,01	9,02	9,01	9,01	9,18	UCL (mm)	9,20
	2	9,02	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,19	LCL (mm)	9,00
	3	9,02	9,02	9,03	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,19	TOLERANCE	0,20
Průměr		9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,01	9,19	9,034	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_a =$
B	1	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,18		
	2	9,01	9,01	9,01	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,18		
	3	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01	9,02	9,01	9,02	9,19		
Průměr		9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,18	9,032	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,009	$R_b =$
C	1	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,18		
	2	9,02	9,01	9,01	9,02	9,03	9,02	9,01	9,03	9,01	9,19		
	3	9,02	9,02	9,02	9,03	9,01	9,02	9,02	9,02	9,01	9,18		
Průměr		9,02	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,18	9,034	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_c =$
Průměr pro díl		9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,18	9,033	$\bar{x}_{\bar{x}} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_D}$		0,010				$\bar{X}_{pDIF} = (\max \bar{x}_{a,1,z} - \min \bar{x}_{a,1,z})$		$R_p = (\max \bar{x}_p - \min \bar{x}_p)$		Počet vzorků		10	
						0,0020		0,171		Počet měření		3	
$\bar{E}V = \bar{K} \cdot \bar{K}_1$		0,0057				$AV = \sqrt{(\bar{X}_{pDIF} + K_2)^2 - \frac{EV^2}{n_D}}$		0,0001		$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		13,3	
$PV = \bar{R}_j \cdot K_3$		0,0538				$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$		0,0541		$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		10,55%	
$\bar{T} = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		0,0057		$\%GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100$		17,14%	

Po doplnění nového vzorku je z testu patrné, že je výpočet %GRR pomocí tolerance stejný a mění se nám výpočet pomocí variability dílu. Provedená simulace nám potvrdila použitelnost měřidla a jeho dobrou rozlišovací schopnost.

5 Návrh systému měření pro nevyhovující skupiny

Jak bylo v minulé kapitole shrnuto, všechny vybrané měrové systémy pro všechny vybrané skupiny jsou nevyhovující. Tento závěr byl potvrzen výpočty nejistoty a způsobilosti měrových systémů, proto jsme se zaměřili na možnost použití měrových systémů v rámci komunálních (obrázek číslo 16) měřidel používaných či dostupných na pracovišti obrobny.

5.1 Komunální měřidla na středisku obrobny

Na středisku obrobny jsou, nebo se dají zajistit tato komunální měřidla:

- 1) Digitální posuvné měřidlo

Nejrozšířeněji používané měřidlo na středisku. Velice oblíbené pro jeho jednoduchou a rychlou manipulaci.

- 2) Třmenový digitální mikrometr

Měřidlo využívané pro měření tloušťky stěn materiálu. Může být ukotveno ve stojánku. Pro naše skupiny není vhodné, ale jinak se jedná o přesné měřidlo.

- 3) Digitální úchylkoměr se stojánkem

Měřidlo má pro námi sledovanou výrobu dostatečnou přesnost a jedna z jeho předností je eliminace vlivu operátora na měření(síly). Další výhodou tohoto měřidla je rychlost měření a sada koncových vyměnitelných hrotů. Ty velice rozšiřují použitelnost tohoto měřidla a navíc si podnik může vyrobit vlastní speciální hroty.



Digitální posuvné měřidlo



Tímenový digitální mikrometr



Digitální úchylkoměr



Profil projektor

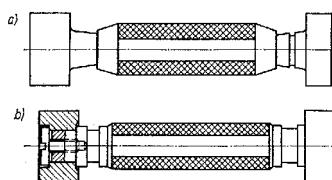
Obrázek č.16: Komunální měřidla

4) Profil projektor

Velice přesné měřidlo umožňující měření rozměrů s přesností na tisíciny. Ovládání tohoto měřidla vyžaduje nemalou zkušenost operátora v ovládání. Nevýhodou tohoto měřidla je jeho delší doba potřebná k provedení měření.

5) Válečkové kalibry oboustranné

Tato měřidla patří v sériových a hromadných výrobách k nejoblíbenějším pro jejich rychlé snadné použití. Jedná se o měřidla porovnávací.



Obrázek č.17: Válečkový kalibr oboustranný

6) Základní měrky rovnoběžné

Používané měrky jsou 2 stupně přesnosti. V tomto případě se nejedná přímo o měřidlo pro přímé měření, i když tak lze měrky také použít např. pro měření šířek drážek atd., ale spíše se jedná o měřidlo pomáhající k dobrému nastavení jiných měřidel jako například u úchylkoměru, v případech např. když nám nestačí rozsah měřidla a potřebujeme měřidlo nastavit pro hodnoty ležící mimo základní rozsah měřidla.

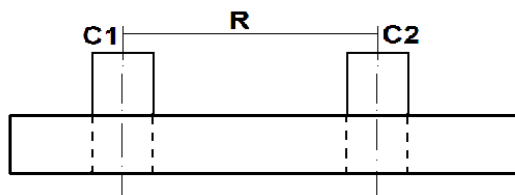
5.2 Návrh systému měření pro skupinu č.1 (rozteč $56,00 \pm 0,1$)

Jako první variantu navrhujeme z dostupných měřidel použít Profil projektor i přes jeho delší nastavovací a manipulační čas. Tento čas by se dal zkrátit pomocí přípravků, které by středily vložené hliníkové díly.

Jako druhou variantu navrhujeme nechat vyrobít porovnávací přípravek(y). Skica tohoto přípravku je uvedena na obrázku číslo 18. Jedná se o základovou desku s dvěma čepy. Protože existují varianty, u kterých se na stejné rozteči vyrábí díry o různých průměrech, nechá se takový přípravek udělat universálnější např. pro více průměrů (vyměnitelné čepy). Tím by se sadou několika přípravků dala pokrýt široká škála rozměrů této skupiny. Jedinou skutečností, která v současné době brání výrobu tohoto přípravku, jsou volné výrobní tolerance. Ve výrobcích, kde jsou tyto přípravky zavedeny, muselo dojít k technologickému zpřesnění výrobních tolerancí před zkonstruováním měřidel. Přípravky jsou konstruovány tak, že čep C1 je kalibrační s rozměry jako má válečkový kalibr, a čep C2 je volný se zohledněním výrobní tolerance díry, do které čep zapadá a rozteče R. Nespornou výhodou těchto přípravků je jejich rychlost měření (porovnávání).

Pokud se zamyslíme nad nabízejícími se variantami, tak první varianta znamená využití jednoho zařízení pro celou obrobnu. Navíc měření se zařízením bude vždy nesrovnatelně delší než s porovnávacím přípravkem. Pro představu-měření na porovnávacím přípravku je otázkou max. 1 minuty s přednastavením, pokud se jedná o víceúčelové měřidlo, zatímco seřízení a měření na Profil projektoru je otázkou cca. 10 minut.

Protože se na středisku vyrábí spíše více zakázek o menším množství, doporučovali bychom otevřít jednání nad možností implementace těchto porovnávacích měřidel i přes jejich prvotní náklady, které se mohou snížit za použití vlastních výrobních kapacit.



Obrázek č.18: Porovnávací přípravek

5.3 Návrh systému měření pro skupinu č.2 (průměr 3,00)

Tato skupina je pro nás zajímavá tím, že je tvořena jen několika přesnými rozměry s výrobní tolerancí do 0,1 mm, pro které navrhujeme použít válečkových kalibrů oboustranných, se kterými je rychlé měření (porovnávání). Dále pokud by došlo k měření průměrů ve výrobní toleranci od 0,3 mm do 0,8 mm, pak bychom připustili použití digitálního posuvného měřidla, u kterého bychom museli zavést technologickou výrobní toleranci či jiná opatření, která by eliminovala vliv nejistoty měření. U vyšších výrobních tolerancí je možné použít digitálního posuvného měřidla bez omezení.

Pro specifické průměry s menší hloubkou zahloubení (zástupce $\varnothing 39,5 +0,1$ mm) bychom doporučili koupit sadu tříbodového dutinoměru. Toto měřidlo je dostatečně přesné a jako je tomu u třmenového mikrometru, eliminuje chybu síly operátora a rychle se s ním měří. Tato měřidla můžeme koupit jak ve verzi analogové, tak digitální či pákové. Pro naše potřeby měření by stačilo analogové měřidlo. Tento typ měřidla by se dal využít při měření neobrátkových průměrů (úspora výroby válečkového kalibru). Sada tříbodového dutinoměru (obrázek číslo 19) se dá sehnat již od 3 000 Kč. Nové sady těchto měřidel se začínají pohybovat od 10 000 Kč. Tuto částku za tak univerzální měřidlo nepovažujeme za vysokou vzhledem k přínosu, jaký může mít.



Obrázek č.19: Typy dutinoměru

5.4 Návrh systému měření pro skupinu č.4 (zahloubení 0,6+0,1)

Pro tuto skupinu navrhujeme použít digitálního úchylkoměru se stojánkem. Měření posuvným měřidlem vnáší možnost vzniku velké chyby (metoda a síla). Tyto chyby jsou u úchylkoměru eliminovány připevněním měřidla na stojánek, kde měřidlo působí na měřený díl pouze vlastní silou. Jak již bylo uvedeno, při hodnocení měřidla je zapotřebí specifikovat body měření. Pro ověření použitelnosti digitálního

úchylkoměru byla provedena měření na tomto měřidle a vypočtena jeho způsobilost. Z vypočtené způsobilosti %GRR je zřejmé, že můžeme zvážít užití měřidla pro tento rozměr.

Tabulka č.39: Naměřené hodnoty úchylkoměrem

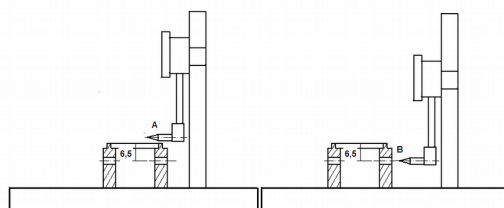
OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	operátor k=1...z
A	1	9,01	9,01	9,02	9,02	9,01	9,01	9,02	9,01	9,01	9,01	UCL (mm)	9,20
	2	9,02	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,02	LCL (mm)	9,00
	3	9,02	9,02	9,03	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	TOLERANCE	0,20
Průměr		9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,01	9,02	9,017	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_a =$
B	1	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01		
	2	9,01	9,01	9,01	9,02	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01		
	3	9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01	9,02	9,01	9,02	9,02		
Průměr		9,02	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01	9,015	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,009	$R_b =$
C	1	9,01	9,02	9,01	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01		
	2	9,02	9,01	9,01	9,02	9,03	9,02	9,01	9,03	9,01	9,02		
	3	9,02	9,02	9,02	9,03	9,01	9,02	9,02	9,02	9,01	9,01		
Průměr		9,02	9,02	9,01	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,01	9,017	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_c =$
Průměr pro díl		9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,01	9,01	9,016	$\bar{x}_{p1} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_O}$		0,010				$X_{pDIF} = (\max \bar{x}_{p1} - \min \bar{x}_{p1})$		$R_p = (\max \bar{x}_{p1} - \min \bar{x}_{p1})$		$\bar{R}_p = (\max \bar{x}_{p1} - \min \bar{x}_{p1})$		Počet vzorků	10
						0,0020		0,0007				Počet měření	3
												Počet operatorů	3
$EV = k \cdot k_1$		0,0057				$AV = \sqrt{(2paf \cdot k_2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot k_1}}$		0,0001		$n_{dc} = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		1	
$PV = R_p \cdot K_1$		0,0021				$TV = \sqrt{GRR^2 - PV^2}$		0,0061		$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$		93,87%	
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		0,0057		$\% GRR = \frac{GRR}{T} \cdot 100$		17,14%	

5.5 Návrh systému měření pro skupinu č.5 (rozměr 6,5 ±0,1mm)

Pro měření této skupiny nevyhovuje žádné z výše uvedených měřidel ve stávajícím stavu, aby na jedno měření byla zjištěna cílová hodnota. Toho by se dalo dosáhnout vyrobením hrotu do digitálního úchylkoměru. Tento hrot by byl vyroben tak, že by byl kolmý na upínací závit a zároveň by průměr hrotu byl přesný (v tisícinách). Toho by šlo dosáhnout, pokud by hrot byl vyroben např. z ložiskových válečků. Vlastní měření by probíhalo tak, jak je naznačeno na níže uvedeném obrázku číslo 20.

Nejprve spodní část hrotu položíme na vrchní část měřeného dílce a vynulujeme úchylkoměr („A“). Následně odsuneme měřený díl a s hrotem sjedeme do výše osy měřené průměru. Poté nasuneme díl měřeným otvorem na špičku hrotu tak, že se nám měřený díl stále celou plochou dotýká základny stojánku („B“), svislý pohyb koná hrot úchylkoměru, nikoli měřený dílec, a odečteme hodnotu na úchylkoměru. Tato hodnota je zkreslena půlkou průměru hrotu, a proto tuto polovinu průměru odečteme od

naměřené hodnoty. Doporučujeme průměr hrotu nechat změřit na měrovém středisku a jeho hodnotu zapsat (jiskřit) na viditelnou část hrotu.

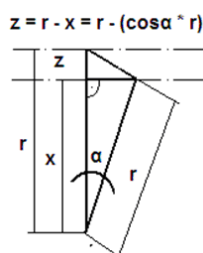


Obrázek č.20: Měření speciálním hrotem

5.6 Návrh systému měření pro skupinu č.6 (rozměr 70)

Přímé měření pomocí dostupných měřidel bez dopočítání vlivu úhlu není možné, a protože není žádoucí, aby operátor dopočítával úhly sám, navrhujeme, aby byla vytvořena doplňující tabulka s koeficientem z (obrázek číslo 21) pro snazší a rychlejší zjištění měřeného rozměru.

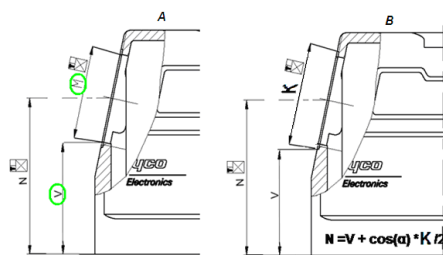
Nabízí se zde dvě varianty měření tohoto rozměru. První varianta počítá se stejným systémem měření, jaký je nyní, ale s rozdílem zohlednění naměřeného výsledku o koeficient z . Tato varianta by se vzhledem k šířce výrobní tolerance jevila jako vhodná, ale sama o sobě nese mnoho možných chyb, jako například dvojnásobnou nejistotu měření posuvného měřidla, možnou chybu koeficientu z , který bude vypočítán na střed tolerance průměru závitu. Průměr závitu se pohybuje v desetinách milimetru, proto navrhujeme úpravu této metody a jako druhé řešení metodu založenou na jednom měření s koeficientem z s rozšířenou nejistotou měření.



Obrázek č.21: Zobrazení znázornění parametrů koeficientu z

Varianta č.1 - jedná se o měření rozměrů pomocí dvou měření, jak ukazuje obrázek 22A. Měřený rozměr N se vztahuje jak k průměru závitu, tak i k průměru zahloubení. Souosost těchto dvou průměrů je dána monolitickým nástrojem, který vyrábí oba

průměry najednou. Při výrobě nástroje jsou kladeny velké nároky na souosost daných průměrů. Z tohoto důvodu navrhujeme ponechat původní model měření jen s tím rozdílem, že rozměr V se bude měřit na digitálním úchylkoměru k nejnižšímu bodu průměru zahloubení K (obrázek č.22B). Pro měření průměru zahloubení doporučujeme obstarat tříbodové dutinové měřidlo místo digitální posuvky. Od naměřených hodnot bude odečtena hodnota koeficientu z , která bude stanovena pro střední hodnotu průměru zahloubení.



Obrázek č.22: Měření rozměru 70 mm

Varianta č.2 - se opírá pouze o měření rozměru V , který bude porovnáván s tabulkovou hodnotou a její tolerancí. Příklad řešení návrhu tabulky pro díly vyráběné z odlitku 1110034 je uveden v tabulce číslo 40. Tato hodnota bude stanovena na základě výpočtu dle vzorce :

$$V = N - \cos(\alpha) * \left(\frac{K}{2} \right) \quad (19)$$



Kde N – je rozměr měřený od základny odlitku k ose odlitku

K – je průměr zahloubení

Rozměr K má výrobní toleranci jedné desetiny a i nástroj je vyráběn kolem střední hodnoty tolerance, proto se bude rozměr K počítat na střed tolerance.

Skutečnost, že se tento rozměr proti kalkulované hodnotě může pohybovat v toleranci $\pm 0,05$ mm, zohledníme zpřísněním výrobní tolerance právě o těchto $\pm 0,05$ mm + dalších $\pm 0,05$ mm, které nám pokryjí vlivy zaokrouhlování rozměrů a nejistoty měřidla, \rightarrow že výrobní tolerance rozměru V bude $\pm 0,2$ mm. Tato tolerance pro naše požadavky a užitou technologii dostatečně postačí.

Tabulka č.40: Návrh řešení výrobních tolerancí pro rozměr V

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  Tyco Electronics </div>									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Přehled pro měření pozice průměru zahloubení na odlitku (STS) $V = N - \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{K}{2}\right)$ </div>									
Popis odlitku	Číslo odlitku	závit	Rozměr K	Rozměr			Rozměr N	úhel α	
				min	V	max			
HIP.24/64	1110034	M32	34,05	51,15	51,35	51,55	68	12°	
HIP.24/64	1110034	M40	44,05	46,25	46,45	46,65	68	12°	
HIP.24/64	1110034	Pg16	24,55	57,80	58,00	58,20	70	12°	
HIP.24/64	1110034	Pg16	24,55	60,80	61,00	61,20	73	12°	
HIP.24/64	1110034	Pg21	30,55	54,85	55,05	55,25	70	12°	
HIP.24/64	1110034	Pg29	39,55	50,45	50,65	50,85	70	12°	

Každá z variant má své výhody i nevýhody. První varianta je přesnější, ale pracnější, časově náročnější a navíc vyžaduje, aby operátor dopočítával hodnoty. Tomu by šlo zabránit tvorbou jednoduchého programu, kde by operátor vybral číslo polotovaru a pak by jen dosadil naměřené hodnoty a automaticky by se mu vypočetla finální hodnota měření upravená o koeficient $z \rightarrow$ nutnost tvorby programu, protože je nežádoucí, aby operátor dopočítával nějaké hodnoty sám. Navíc z důvodu velké nejistoty měření by se musela zpřísnit výrobní tolerance o cca. $\pm 0,05$ mm.

Druhá varianta je časově a administrativně jednodušší, ale zpříšňuje výrobní toleranci. Z našeho pohledu je výhodnější varianta č.2.

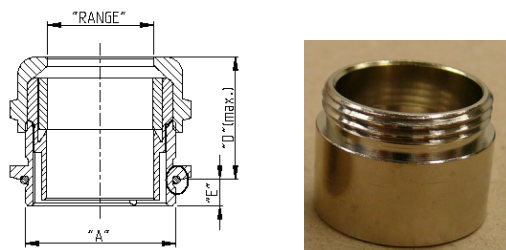
U obou variant vzniká nutnost zavedení kontroly úhlu roviny po seřízení programu pro obrábění. Tato kontrola by nám měla eliminovat možný náhodný vliv operátorů při tvorbě či úpravě programů. Při zjištění odchylky od předepsané hodnoty musí operátor kontaktovat technologa. Kdyby se změnil úhel α pro daný polotovar, musí se všechny tabulkové hodnoty přepočítat.

6 Zmetkovitost na minimální tloušťku stěny

U některých našich produktů dochází čas od času k protočení montované průchodky v hliníkovém odlitku. K tomu dochází, protože vyrobený závit v odlitku zapadne do zahloubení za závitem montované průchodky. Z tohoto hlediska existují dva faktory, které mohou danou situaci způsobit, a to zápich za závitem průchodky a tloušťka stěny odlitku. V prvním kroku prověříme systémy měření u výše zmíněných faktorů.

6.1 Měření průchodky

V podniku se využívá velká škála průchodek, které jsou nakupovány od našich dodavatelů. Jako každé dodávané komponenty podléhají vstupní kontrole, kde má každý z těchto komponentů vystaven kontrolní list. Kontrolní body jsou dané z technologického hlediska a na žádné kontrolní kartě se nevyskytuje kontrola šířky zápichu za závitem. Tento fakt je dán absencí této kóty na dodavatelském výkresu, jehož příklad si můžeme prohlédnout na obrázku číslo 23.



Obrázek č.23: Průchodka s a bez o-kroužku

Při kontrole výkresů průchodek byly tyto průchodky rozděleny do dvou skupin. První skupinu tvoří průchodky, u nichž se do vyrobeného zápichu za závitem vkládá o-kroužek. U této skupiny jsme provedli test, při kterém jsme montovali několik průchodek do odlitku se zeslabenou stěnou odlitku až na 2 mm. U žádné z průchodek nenastal problém s protočením průchodky a to i přesto, že zápich za závitem je 3 mm. Problém s protočením zabránil o-kroužek, který vymezil prostor v zápichu a zabránil zapadnutí tloušťky stěny do zápichu průchodky.

Druhým typem průchodek jsou průchodky, u kterých se do zápichu za závitem nekládají o-kroužky. U těchto typů průchodek nám může stěna odlitku zapadnout do

zápichu. Z výsledků měření různých typů těchto průchodek bylo zjištěno, že maximální zápich, který se za závitem vyskytoval, měl šířku dva milimetry. Zjištěné hodnoty šířek zápichů jsou uvedeny v tabulce číslo 41.

Tabulka č.41: Seznam zápichů za závitem

Přehled používaných zápichů za závitem			
Závít typu M	Šířka zápichu	Závít typu M	Šířka zápichu
M16	1,5 mm	PG9	0,8 mm
M20	1,5 mm	PG11	1,2 mm
M25	2,0 mm	PG13	1,5 mm
M32	2,0 mm	PG16	1,5 mm
M40	2,0 mm	PG21	2,0 mm
M50	2,0 mm	PG29	2,0 mm
		PG36	2,5 mm
		PG42	3,0 mm

6.2 Měření síly stěny odlitku

Po prostudování platných výkresů jsme zjistili, že máme 2 typy výkresů definující rozměry ovlivňující tloušťky stěn. První z výkresů je výkres pro dodavatele vstupního odlitku, na kterém nalezneme kótu pro sílu stěny a kótu celkové výšky odlitku. Druhým výkresem je zákaznický výkres, na kterém je nadefinována celková výška odlitku o stejném rozměru, jako je uveden na dodavatelském výkresu. To vše by bylo v pořádku, pokud bychom odlitek nefrézovali. Odlitky se frézují pro získání rovinnosti plochy pro výrobu zahlbubení, které se vyrábí ve výrobní toleranci $\pm 0,1$ mm. Tuto přesnost zahlbubení není možné u dodávaných odlitků dodržet z důvodů existence vyjímácích úhlů u všech obvodových stěn. Tyto úhly jsou důležité pro vlastní výrobu odlitku pomocí technologie tlakového lití hliníku a slouží pro snazší vyjmutí odlitku z formy.

Výkresy pro obrábění neobsahují žádnou kótu definující sílu stěny odlitku či jinou kótu ovlivňující tento rozměr. Z tohoto důvodu se tloušťka stěny kontroluje jen při vstupní kontrole. Při finální kontrole se kontroluje celková výška odlitku, která je s kótou síly stěny spjata.

Měření tloušťky stěny na vstupní kontrole jsou měřena pomocí mikrometru připevněného na stojánku. Toto měřidlo je dostatečně způsobilé pro měření předepsaných tolerancí $\pm 0,1$, protože pracuje s nejistotou měření do 0,01 mm. Pro měření výšky odlitku se na vstupní kontrole i ve výrobě používá digitálního

úchylkoměru tisícinného přichyceného na stojánku. Toto měřidlo pracuje s nejistotou měření do 0,03 mm a to je vzhledem k předepsané výrobní toleranci $\pm 0,3$ mm vyhovující. Tato tvrzení nám potvrzují i vypočtené způsobilosti měřidel uvedené v tabulce číslo 42 a tabulce číslo 43.

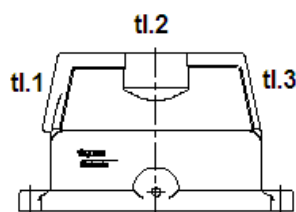
Tabulka č.42: Vyhodnocení mikrometru

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
A	1	4,901	4,902	4,952	4,952	5,000	5,002	5,050	5,051	5,098	5,096	UCL (mm)	5,10
	2	4,902	4,903	4,954	4,952	5,010	5,001	5,053	5,053	5,097	5,098	LCL (mm)	4,90
	3	4,902	4,901	4,954	4,954	5,010	5,002	5,052	5,053	5,100	5,099	TOLERANCE	0,20
Průměr		4,902	4,902	4,953	4,953	5,007	5,002	5,052	5,052	5,098	5,098	5,002	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,001	0,002	0,002	0,002	0,010	0,001	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	$R_a =$
B	1	4,902	4,902	4,953	4,953	4,999	4,999	5,052	5,052	5,099	5,097		
	2	4,901	4,901	4,953	4,952	4,998	5,001	5,054	5,052	5,097	5,099		
	3	4,903	4,901	4,952	4,955	5,000	5,001	5,056	5,055	5,099	5,097		
Průměr		4,902	4,901	4,953	4,953	4,999	5,000	5,054	5,053	5,098	5,098	5,001	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	$R_b =$
C	1	4,902	4,903	4,952	4,954	5,001	5,002	5,053	5,050	5,099	5,096		
	2	4,902	4,902	4,953	4,954	5,002	5,003	5,051	5,052	5,097	5,097		
	3	4,901	4,902	4,951	4,953	5,000	5,000	5,056	5,051	5,096	5,100		
Průměr		4,902	4,902	4,952	4,954	5,001	5,002	5,053	5,051	5,097	5,098	5,001	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005	0,002	0,003	0,004	0,002	$R_c =$
Průměr pro díl		4,902	4,902	4,953	4,953	5,002	5,001	5,053	5,052	5,098	5,098	5,001	$\bar{x}_{\bar{x}_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_{\bar{R}}}$		0,003				$\hat{X}_{pDIF} = (\max \bar{x}_{a,j} - \min \bar{x}_{a,j})$		$R_d = (\max \bar{x}_{b,i} - \min \bar{x}_{b,i})$		Počet vzorků		10	
						0,0006		0,196		Počet měření		3	
										Počet operátorů		3	
$EV = R + K_1$		0,0015				$AV = \sqrt{(\hat{X}_{pDIF} * K_2)^2 + \frac{EV^2}{n * r}}$		0,0002		$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		58	
$PV = R_i * K_3$		0,0617				$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$		0,0617		$\%GRR = \frac{GRR}{TV} * 100$		2,44%	
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,0333				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		0,0015		$\%GRR = \frac{GRR}{T} * 100$		4,53%	

Tabulka č.43: Vyhodnocení úchylkoměru pro rozměr 90

OPERATOR		Posuvné měřidlo digitální 3928										vzorky i=1...n	
(k)	(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	opakování j=1...r	
A	1	89,71	89,71	89,72	90,02	90,01	90,01	90,02	90,31	90,31	90,33	UCL (mm)	90,30
	2	89,72	89,72	89,71	90,02	90,02	90,02	90,02	90,31	90,32	90,32	LCL (mm)	89,70
	3	89,72	89,72	89,73	90,01	90,02	90,02	90,02	90,32	90,31	90,32	TOLERANCE	0,60
Průměr		89,72	89,72	89,72	90,02	90,02	90,02	90,02	90,31	90,31	90,32	90,017	$\bar{x}_a =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_a =$
B	1	89,72	89,72	89,72	90,02	90,01	90,02	90,01	90,32	90,31	90,33		
	2	89,71	89,71	89,71	90,02	90,02	90,02	90,01	90,32	90,31	90,31		
	3	89,72	89,72	89,71	90,02	90,01	90,01	90,02	90,31	90,32	90,32		
Průměr		89,72	89,72	89,71	90,02	90,01	90,02	90,01	90,32	90,31	90,32	90,016	$\bar{x}_b =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,010	$R_b =$
C	1	89,71	89,72	89,71	90,02	90,01	90,02	90,02	90,32	90,32	90,32		
	2	89,72	89,71	89,71	90,02	90,03	90,02	90,01	90,33	90,31	90,33		
	3	89,72	89,72	89,72	90,03	90,01	90,02	90,02	90,32	90,31	90,33		
Průměr		89,72	89,72	89,71	90,02	90,02	90,02	90,02	90,32	90,31	90,33	90,019	$\bar{x}_c =$
Rozpětí		0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,010	$R_c =$
Průměr pro díl		89,72	89,72	89,72	90,02	90,02	90,02	90,02	90,32	90,31	90,32	90,017	$\bar{x}_{\bar{x}_i} =$
$\bar{R} = \frac{R_a + R_b + R_c}{n_{\bar{R}}}$		0,010				$\hat{X}_{pDIF} = (\max \bar{x}_{a,j} - \min \bar{x}_{a,j})$		$R_d = (\max \bar{x}_{b,i} - \min \bar{x}_{b,i})$		Počet vzorků		10	
						0,0027		0,608		Počet měření		3	
										Počet operátorů		3	
$EV = R + K_1$		0,0059				$AV = \sqrt{(\hat{X}_{pDIF} * K_2)^2 + \frac{EV^2}{n * r}}$		0,0009		$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$		45,1	
$PV = R_i * K_3$		0,1912				$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$		0,1913		$\%GRR = \frac{GRR}{TV} * 100$		3,12%	
$T = \frac{UCL - LCL}{6}$		0,1000				$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		0,0060		$\%GRR = \frac{GRR}{T} * 100$		5,97%	

Při kontrole výkresů byl zjištěn výskyt 4 základních hodnot tloušťek stěn, které můžeme naměřit na našich produktech, a byly zaznamenány do tabulky číslo 44. Pozice zaznamenaných hodnot byla naměřena dle obrázku číslo 25.



Obrázek č.24: Ilustrační obrázek s body měření

Tabulka č.44: Seznam rozměrů odlitků

Tloušťky stěn odlitku						
PN	Předepsané rozměry			Dodávané rozměry		
	tl.1	tl.2	tl.3	tl.1	tl.2	tl.3
1110034	8,5±0,2	5,0±0,1	3,5±0,1	8,43	4,83	3,45
1110113	3±0,1	3,5±0,1	3±0,1	2,98	3,43	2,99
1110114	3,5±0,1	3,5±0,1	3,5±0,1	3,52	3,42	3,55
1110135	3±0,1	3,5±0,1	3±0,1	3,07	3,58	3,08
1110136	3±0,1	3,5±0,1	3±0,1	2,97	3,62	2,99
1110137	3±0,1	3,5±0,1	3±0,1	3,08	3,75	3,03
1110138	3±0,1	3±0,1	3±0,1	3,02	3,01	2,98
1110864	8,5±0,2	5,0±0,1	3,5±0,1	8,67	4,92	3,35

6.3 Vyhodnocení systémů měření

Jak je patrné z výše uvedených výpočtů, je systém měření síly stěny dobře nastaven a je vyhovující. Z tohoto důvodu můžeme tvrdit, že vyšetřovaný problém nevzniká z důvodu špatně nastaveného měrového systému. Jako velice nevyhovující musíme označit absenci kót tloušťky stěn či kót spjatých s touto kótou na výrobních výkresech. Tento fakt nám vnáší značné riziko odběru tloušťky stěny při procesu frézování. Pro lepší pochopení a prověření možnosti vzniku vyšetřovaného problému při procesu frézování jsme se rozhodli tento proces prověřit.

Jedním z doporučení ke kontrole zápichu za závitem u průchodek je otevření diskuse s dodavateli nad uvedením výrobní tolerance tohoto zápichu do výkresu a následným zanesením tohoto rozměru do kontrolních plánů.

7 Proces obrábění

Jak bylo v předchozí kapitole uvedeno, všechny plochy odlitků, na kterých se vyrábí zahloubení, se pro těsnění frézují. Tato zahloubení se vyrábí ve dvou provedeních, a to o hloubce $0,5 \pm 0,1\text{mm}$ a $1,5 \pm 0,1\text{mm}$. Ve výkresové dokumentaci chybí jakákoli kóta, která by definovala povolený odběr třísky z obráběných ploch. Tento úběr se řídí odhadem operátora, kdy se snaží o co nejmenší úběr třísky. Tento fakt je pro nás z dlouhodobého hlediska neakceptovatelný a měl by se co nejdříve napravit zavedením technologických kót. Pro prověření k jakému úběru třísky skutečně dochází, jsme se rozhodli zkontrolovat výrobní proces tohoto kroku.

7.1 Prověření operace frézování

K frézování se využívá 5 strojů. Na těchto strojích se využívají dva systémy upínání odlitků. První systém je tvořen monolitickými segmenty, do kterých je vyfrézován tvar upínaného odlitku (obrázek číslo 25). Pomocí těchto segmentů můžeme v jednom obráběcím cyklu obrábět 2 – 8 ks. Druhý systém je za pomoci standardního upínacího svěráku, který nám umožňuje upínání 1 až 2 kusů (obrázek číslo 26).

Pro kontrolu způsobilosti procesu frézování a úběru materiálu na této operaci jsme provedli sérii měření u obou upínacích systémů.



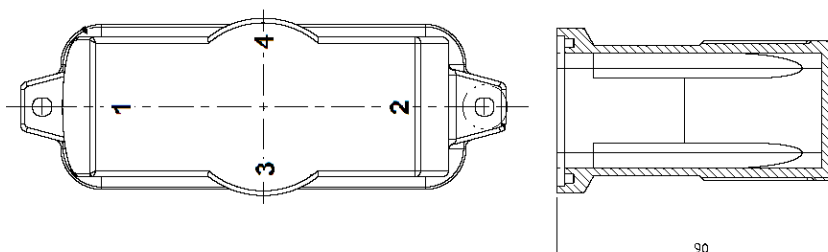
Obrázek č.25: Upínací segmenty odlitku 1110034



Obrázek č.26: Upínání pomocí svěráku

7.1.1 Vícenásobné upínání

Je používáno u vysoko obrátkových produktů. Jako zástupce pro měření jsme vybrali PN 1110034. Měřila se výška odlitku ve 4 bodech před frézováním a po frézování dle obrázku číslo 27.



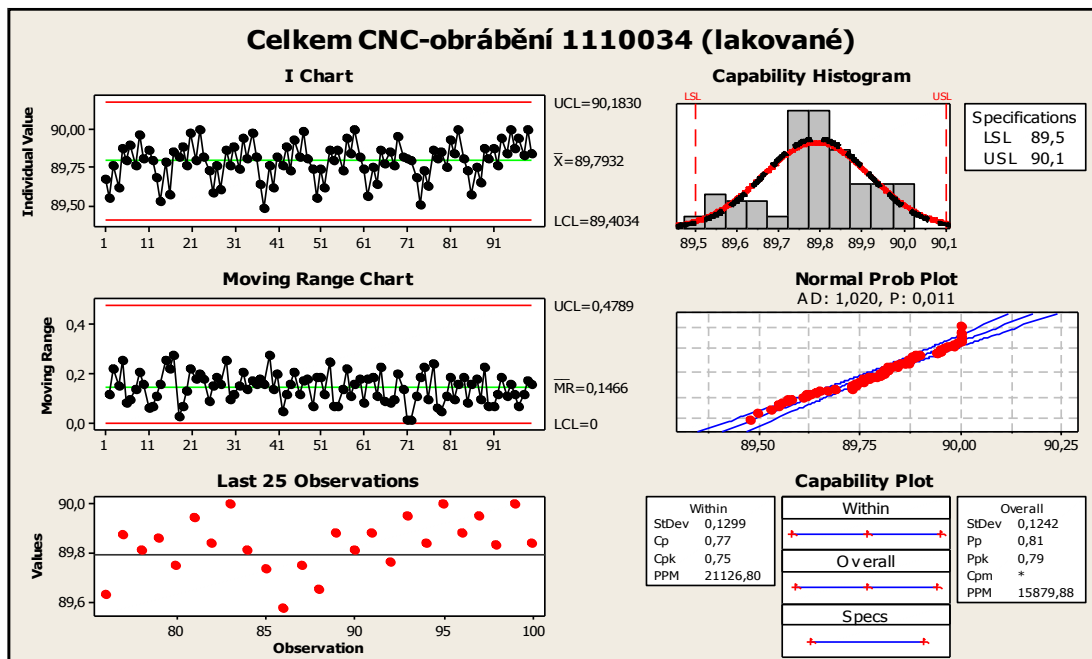
Obrázek č.27: Body měření odlitku 1110034

Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce číslo 43 a vyhodnoceny na obrázku číslo 29. V tabulce jsme označili modře všechna měření vycházející pod povolenou výrobní toleranci.

Tabulka č.45: Výška odlitku 1110034 po frézování odlitku

Měření výšky odlitku PN 1110034										
Nr.	Kavita	Upínací pozice	Rozměry surového odlitku				Rozměry opracovaného odlitku			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	2	1	90,10	90,23	90,08	90,04	89,67	89,55	89,54	89,67
2	2	2	90,07	90,19	90,08	89,97	89,77	89,62	89,74	89,68
3	2	3	90,01	90,21	90,07	90,03	89,88	89,80	89,83	89,86
4	2	4	90,17	90,03	90,04	90,03	89,90	89,76	89,86	89,78
5	2	5	90,08	90,23	90,13	90,06	89,97	89,81	89,85	89,95
6	2	6	90,12	90,24	90,12	90,09	89,87	89,80	89,81	89,90
7	2	1	90,07	90,21	90,08	89,99	89,69	89,53	89,50	89,63
8	2	2	90,06	90,21	90,06	89,98	89,79	89,57	89,72	89,65
9	2	3	90,06	90,29	90,16	90,04	89,85	89,82	89,80	89,86
10	2	4	90,10	90,24	90,18	90,04	89,89	89,76	89,85	89,78
11	2	5	90,05	90,12	90,09	89,96	89,98	89,80	89,85	89,92
12	2	6	90,11	90,31	90,17	90,05	90,00	89,82	89,98	89,85
13	2	1	90,17	90,26	90,14	90,06	89,73	89,58	89,63	89,69
14	2	2	90,09	90,25	90,07	90,03	89,77	89,61	89,70	89,65
15	2	3	90,05	90,17	90,07	90,01	89,87	89,77	89,79	89,83
16	2	4	90,07	90,19	90,06	90,06	89,89	89,74	89,82	89,76
17	2	5	90,07	90,19	90,05	89,98	89,95	89,81	89,85	89,92
18	2	6	90,08	90,21	90,11	89,98	89,98	89,82	89,95	89,85
19	2	1	90,07	90,25	90,11	90,00	89,64	89,48	89,49	89,63

20	2	2	90,10	90,24	90,12	90,04	89,76	89,62	89,70	89,68
21	2	3	90,07	90,22	90,12	90,03	89,82	89,77	89,75	89,84
22	2	4	90,03	90,12	90,03	89,94	89,89	89,73	89,84	89,76
23	2	5	90,11	90,25	90,13	90,04	89,94	89,82	89,84	89,91
24	2	6	90,04	90,24	90,09	89,98	89,99	89,81	89,96	89,86
25	1	1	90,10	90,16	90,01	90,05	89,74	89,55	89,64	89,67
26	1	2	90,12	90,21	90,06	90,07	89,74	89,62	89,70	89,68
27	1	3	90,08	90,15	90,00	90,04	89,87	89,80	89,81	89,86
28	1	4	90,08	90,15	89,98	90,00	89,87	89,73	89,83	89,78
29	1	5	90,10	90,13	89,98	90,05	89,95	89,84	89,86	89,93
30	1	6	90,11	90,16	90,01	90,03	90,00	89,82	89,97	89,86
31	1	1	90,09	90,12	90,04	90,04	89,74	89,56	89,62	89,67
32	1	2	90,11	90,18	90,05	90,09	89,75	89,64	89,68	89,68
33	1	3	90,15	90,14	90,00	90,05	89,87	89,78	89,80	89,84
34	1	4	90,04	90,16	90,05	90,10	89,86	89,76	89,82	89,78
35	1	5	90,10	90,12	90,04	90,06	89,96	89,82	89,86	89,92
36	1	6	90,15	90,21	90,06	90,01	89,81	89,80	89,86	89,87
37	1	1	90,13	90,13	90,03	90,06	89,69	89,50	89,54	89,65
38	1	2	90,11	90,09	90,03	90,06	89,73	89,63	89,69	89,69
39	1	3	90,05	90,14	90,02	90,07	89,87	89,81	89,81	89,86
40	1	4	90,08	90,14	89,98	90,04	89,86	89,75	89,83	89,76
41	1	5	90,05	90,13	90,00	90,04	89,94	89,84	89,86	89,91
42	1	6	90,08	90,16	90,02	90,10	90,00	89,81	89,95	89,87
43	1	1	90,05	90,14	90,00	90,03	89,73	89,57	89,63	89,68
44	1	2	90,03	90,13	90,04	90,12	89,75	89,65	89,69	89,68
45	1	3	90,11	90,12	90,02	90,05	89,88	89,81	89,81	89,86
46	1	4	90,09	90,08	89,99	90,01	89,88	89,76	89,83	89,79
47	1	5	90,09	90,20	90,00	90,06	89,95	89,84	89,87	89,93
48	1	6	90,14	90,17	90,30	90,08	90,00	89,88	90,00	89,89
49	2	5	90,06	90,21	90,13	90,00	89,95	89,83	89,85	89,93
50	2	6	90,05	90,18	90,12	90,08	90,00	89,84	89,97	89,88

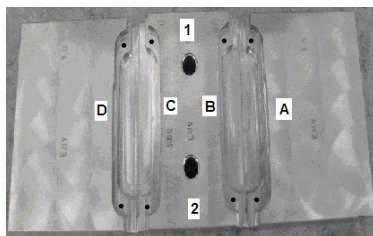


Obrázek č.28: Graf 1: Stabilita procesu frézování PN 1110034

Po analýze dat jsme došli k závěru, že proces je sice stabilní, jak je patrné z I Chartu, ale vykazuje značnou variabilitu, která je znázorněna na Capability Histogramu. Dále je zde patrné z hodnoty Pp, že je nutné snížit variabilitu procesu.

Z měření vychází, že obrobené kusy v upínacích pozicích 1 a 2 se nachází mimo výrobní toleranci.

To nás vedlo k proměření upínacích přípravků, jak je uvedeno na obrázku číslo 29, u kterých jsme zjistili hodnoty zaznamenané v tabulce číslo 46:



Obrázek č.29: Kontrolní body na upínacích segmentech

Tabulka č.46: Rozměry upínacích segmentů pro PN 1110034

Sada	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
1	44,85	45,06	44,79	45,03	44,78	45,03	44,95	45,15
2	44,68	45,11	44,66	44,9	44,68	44,88	44,63	44,93
3	44,67	45,03	44,74	44,98	44,75	44,99	44,78	44,97

Přeměřením upínacích přípravků jsme si potvrdili rozdílnost výšek jednotlivých upínacích segmentů.

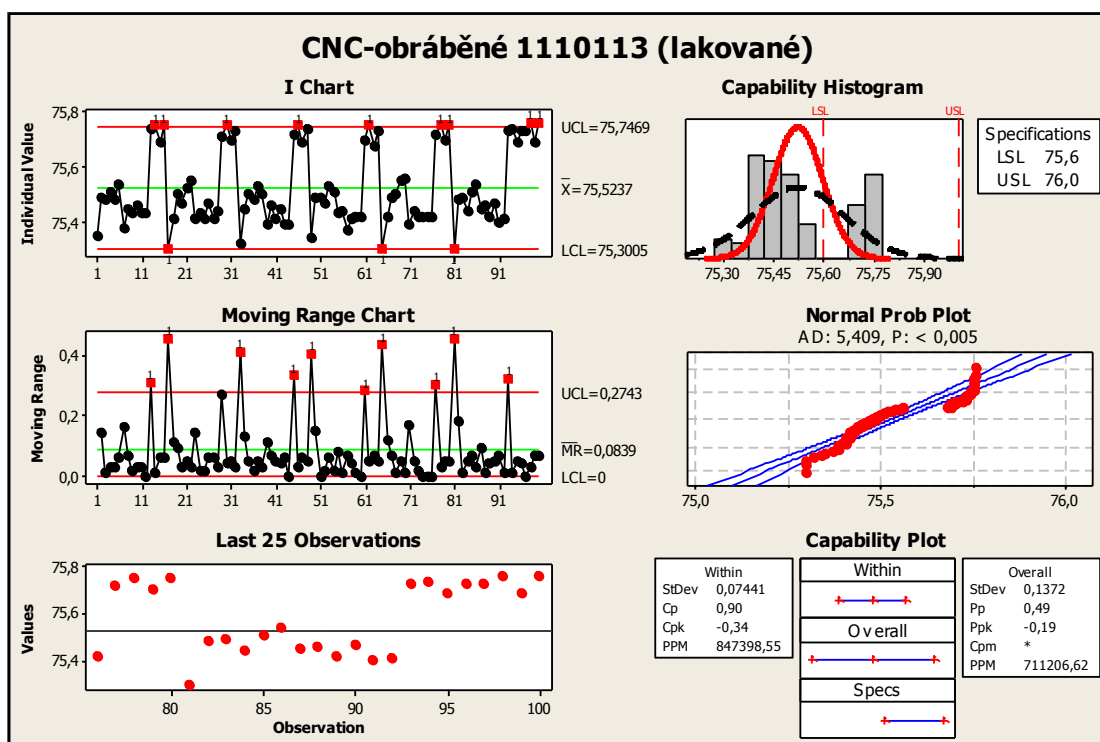
Pro ověření, zda se výše popsaná chyba segmentů nevyskytuje i u jiných upínacích segmentů, jsme se rozhodli provést stejné měření u odlitku 1110113. Výsledek měření je zaznamenan v tabulce číslo 47 a vyhodnocen na obrázku číslo 31.

Tabulka č.47: Výška odlitku 1110113 po frézování odlitku

Měření výšky odlitku PN 1110113									
Nr.	Upínací pozice	Rozměry surového odlitku				Rozměry opracovaného odlitku			
		1	2	3	4	1	2	3	4

1	1	75,87	75,89	75,85	75,82	75,35	75,49	75,44	75,44
2	2	75,89	75,9	75,9	75,84	75,48	75,51	75,59	75,46
3	3	75,82	75,88	75,86	75,78	75,48	75,54	75,54	75,56
4	4	75,86	75,88	75,85	75,85	75,38	75,45	75,55	75,34
5	5	75,88	75,82	75,85	75,84	75,43	75,46	75,48	75,46
6	6	75,82	75,92	75,84	75,82	75,43	75,43	75,49	75,4
7	7	75,88	75,94	75,88	75,81	75,74	75,75	75,8	75,73
8	8	75,85	75,85	75,86	75,83	75,69	75,75	75,72	75,76
9	1	75,86	75,92	75,86	75,85	75,3	75,41	75,44	75,31
10	2	75,9	75,8	75,84	75,85	75,5	75,47	75,59	75,43
11	3	75,89	75,91	75,87	75,79	75,52	75,55	75,53	75,58
12	4	75,86	75,85	75,84	75,81	75,41	75,43	75,54	75,35
13	5	75,88	75,91	75,85	75,85	75,41	75,47	75,47	75,47
14	6	75,86	75,9	75,83	75,85	75,41	75,44	75,5	75,37
15	7	75,92	75,85	75,88	75,85	75,71	75,75	75,78	75,74
16	8	75,88	75,88	75,85	75,88	75,7	75,73	75,74	75,75
17	1	75,9	75,93	75,89	75,86	75,32	75,45	75,42	75,36
18	2	75,95	75,94	75,86	75,9	75,5	75,48	75,61	75,45
19	3	75,88	75,94	75,9	75,8	75,53	75,5	75,55	75,52
20	4	75,92	75,94	75,89	75,9	75,39	75,46	75,54	75,37
21	5	76	75,94	75,94	75,9	75,41	75,45	75,48	75,48
22	6	75,94	75,94	75,89	75,9	75,39	75,39	75,52	75,3
23	7	75,94	75,9	75,9	75,89	75,72	75,75	75,78	75,73
24	8	75,91	75,9	75,89	75,89	75,69	75,74	75,7	75,76
25	1	75,89	75,92	75,88	75,91	75,34	75,49	75,4	75,45
26	2	75,92	75,89	75,97	75,91	75,49	75,47	75,62	75,42
27	3	75,89	75,88	75,93	75,89	75,53	75,51	75,53	75,54
28	4	75,91	75,93	75,9	75,92	75,43	75,44	75,56	75,36
29	5	75,88	75,92	75,89	75,83	75,37	75,41	75,47	75,36
30	6	75,95	75,89	75,91	75,9	75,42	75,42	75,52	75,37
31	7	75,9	75,89	75,9	75,88	75,7	75,75	75,76	75,74
32	8	75,9	75,94	75,88	75,87	75,68	75,73	75,72	75,75
33	1	75,87	75,87	75,83	75,82	75,3	75,42	75,49	75,35
34	2	75,91	75,89	75,82	75,86	75,49	75,5	75,62	75,43
35	3	75,97	75,78	75,87	75,85	75,55	75,56	75,58	75,58
36	4	75,84	75,84	75,83	75,85	75,39	75,44	75,43	75,46
37	5	75,95	75,82	75,87	75,83	75,42	75,42	75,48	75,47
38	6	75,88	75,92	75,81	75,84	75,42	75,42	75,53	75,39
39	7	75,8	75,84	75,85	75,83	75,72	75,75	75,78	75,74
40	8	76,03	75,85	75,93	75,82	75,7	75,75	75,73	75,76
41	1	75,89	75,89	75,82	75,83	75,3	75,48	75,44	75,38

42	2	75,94	75,83	75,86	75,82	75,49	75,44	75,58	75,41
43	3	75,89	75,98	75,84	75,8	75,51	75,54	75,54	75,55
44	4	75,97	75,81	75,87	75,86	75,45	75,46	75,54	75,44
45	5	75,83	75,79	75,84	75,79	75,42	75,47	75,46	75,49
46	6	75,87	75,92	75,83	75,87	75,4	75,41	75,49	75,37
47	7	75,87	75,86	75,85	75,85	75,73	75,74	75,77	75,73
48	8	75,89	75,9	75,86	75,83	75,69	75,73	75,66	75,75
49	7	75,91	75,97	75,86	75,85	75,73	75,76	75,78	75,75
50	8	75,88	75,78	75,87	75,86	75,69	75,76	75,72	75,77



Obrázek č.30: Graf 2: Stabilita procesu frézování PN 1110113

Výsledek měření 1110113 nám potvrdil podobné chování procesu jako u měření 1110034. Pouze 2 pozice z celkového počtu 8 jsou uvnitř výrobní tolerance.

Z provedených měření je patrné, že výrobní proces je stabilní, avšak vykazuje značnou variabilitu, která je způsobena rozdílnou výškou a nakloněním cavit. Korekce výšky cavit by se dala provést ve vlastním programu, ale v případě naklonění dna cavity by se muselo přistoupit k opravě upínacích segmentů.

Výsledky měření nám jasně dávají informaci o úběru materiálu, který se pohybuje od 0,2 d 0,7 mm. To při absenci kontroly tloušťky stěny může znamenat potenciální problém.

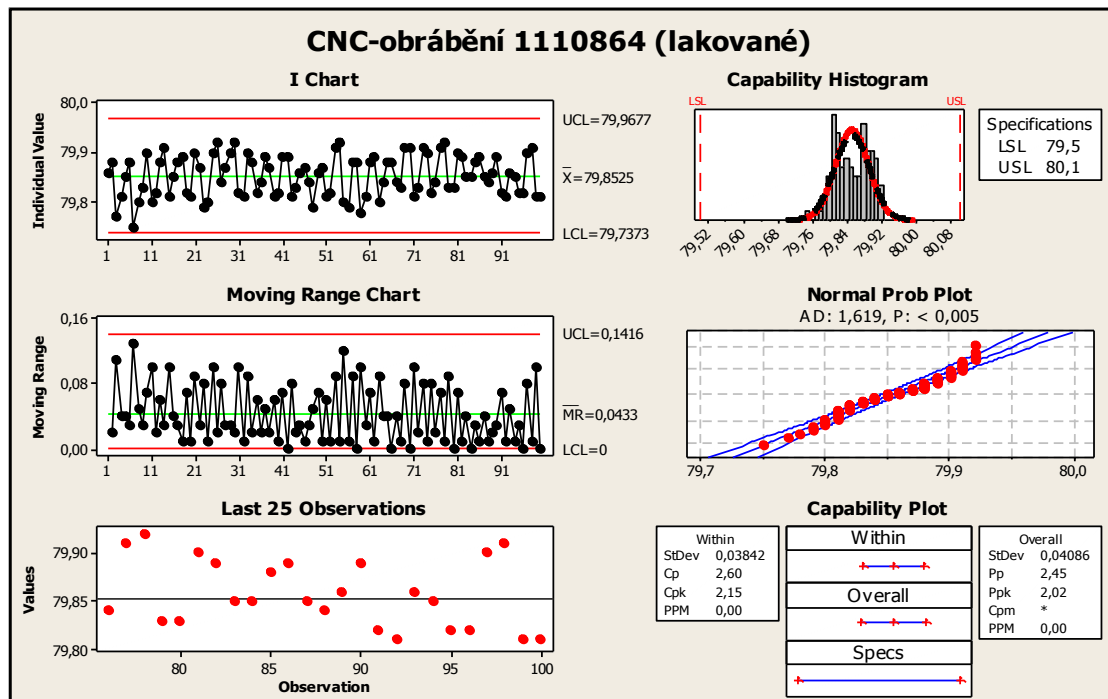
7.1.2 Dvojnásobné upínání

Tento upínací přípravek vychází z úpravy svěráku a je využíván pro nízko obrátkové produkty. Jako zástupce pro měření jsme vybrali pro měření celoplošně broušeného PN 1110864. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce číslo 48 a vyhodnoceny na obrázku číslo 31.

Tabulka č.48: Výška odlitku po frézování 1110864

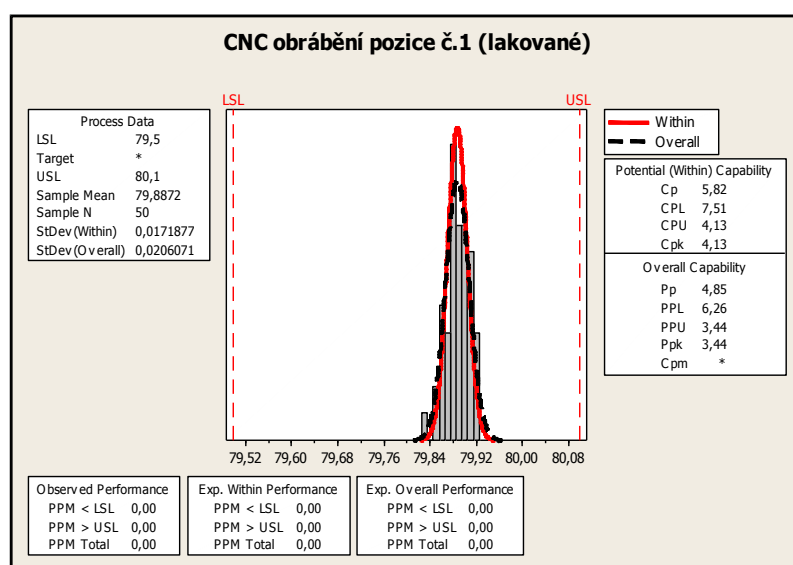
Měření výšky odlitku PN 1110864					
Nr.	Upínací pozice	Rozměry surového odlitku		Rozměry opracovaného odlitku	
		1	2	1	2
1	1	80,08	80,1	79,86	79,88
2	2	80,16	80,26	79,77	79,81
3	1	80,23	80,18	79,85	79,88
4	2	80,15	80,2	79,75	79,8
5	1	80,11	80,09	79,83	79,9
6	2	80,24	80,1	79,8	79,82
7	1	80,17	80,16	79,88	79,91
8	2	80,17	80,23	79,81	79,85
9	1	80,16	80,2	79,88	79,89
10	2	80,21	80,15	79,82	79,81
11	1	80,08	80,15	79,9	79,87
12	2	80,08	80,06	79,79	79,8
13	1	80,22	80,13	79,9	79,92
14	2	80,21	80,15	79,84	79,87
15	1	80,26	80,11	79,9	79,92
16	2	80,16	80,26	79,82	79,81
17	1	80,18	80,29	79,9	79,88
18	2	80,15	80,14	79,82	79,84
19	1	80,09	80,31	79,89	79,87
20	2	80,26	80,14	79,81	79,82

21	1	80,07	80,13	79,89	79,89
22	2	80,13	80,15	79,81	79,83
23	1	80,22	80,2	79,86	79,87
24	2	80,12	80,13	79,84	79,79
25	1	80,22	80,04	79,86	79,87
26	2	80,2	80,26	79,81	79,82
27	1	80,29	80,14	79,91	79,92
28	2	80,26	80,19	79,8	79,79
29	1	80,19	80,1	79,88	79,88
30	2	80,22	80,2	79,78	79,81
31	1	80,14	80,12	79,88	79,89
32	2	80,11	80,15	79,8	79,84
33	1	80,26	80,32	79,88	79,88
34	2	80,2	80,02	79,84	79,83
35	1	80,23	80,06	79,91	79,91
36	2	80,24	80,15	79,81	79,83
37	1	80,3	80,2	79,91	79,9
38	2	80,15	80,14	79,82	79,84
39	1	80,28	80,07	79,91	79,92
40	2	80,2	80,06	79,83	79,83
41	1	80,14	80,11	79,9	79,89
42	2	80,17	80,03	79,85	79,85
43	1	80,16	80,15	79,88	79,89
44	2	80,15	80,11	79,85	79,84
45	1	80,12	80,1	79,86	79,89
46	2	80,15	80,17	79,82	79,81
47	1	80,27	80,11	79,86	79,85
48	2	80,15	80,24	79,82	79,82
49	1	80,28	80,12	79,9	79,91
50	2	80,14	80,23	79,81	79,81

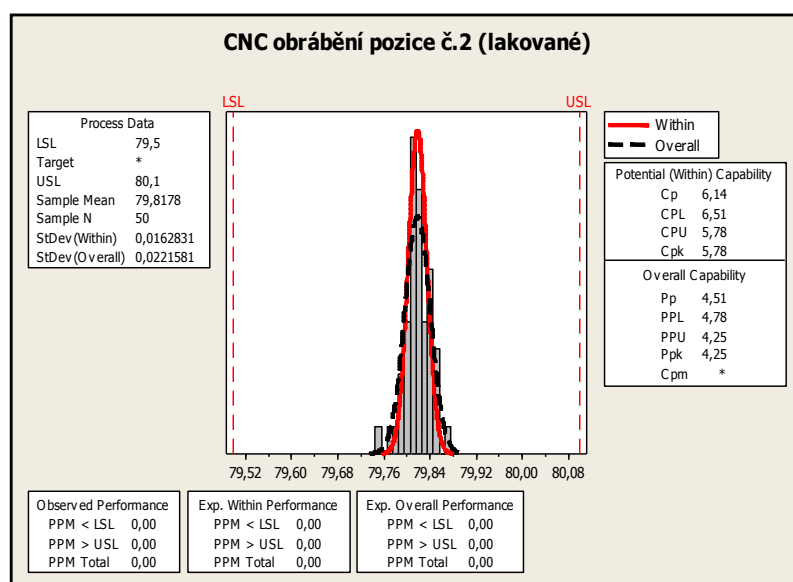


Obrázek č.31: Graf 3: Stabilita procesu frézování PN 1110864

Pokud rozdělíme obrobené kusy dle upínací pozice, dosáhneme lepší způsobilosti procesu, jak je uvedeno na obrázcích číslo 32 a číslo 33. Tato vyhodnocení nám říkají, že pokud vyladíme parametry cavit mezi sebou, můžeme dosáhnout značného vylepšení způsobilosti procesu až na Pp 4,51. Podobných hodnot rovinnosti by se mělo dosahovat i při vícenásobném upínání.



Obrázek č.32: Graf 4: Způsobilost procesu frézování PN 1110864 pozice č.1



Obrázek č.33: Graf 5: Způsobilost procesu frézování PN 1110864 pozice č.2

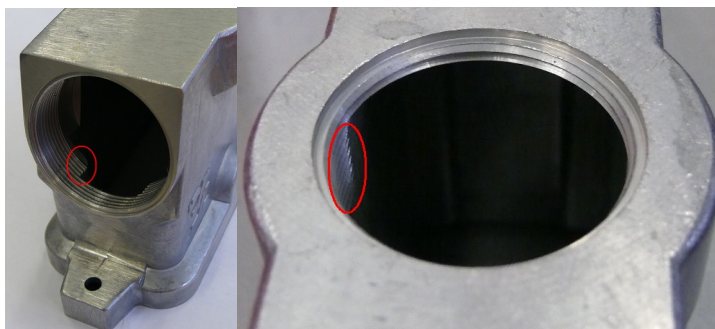
7.2 Vhodnost konstrukce odlitku k tvorbě závitu.

Důležitou věcí, kterou si před vlastním hodnocením možnosti vzniku chyby protočení průchodky musíme uvědomit je ta, že vlastní konstrukce odlitků umožňuje výrobu určitých typů závitu a následnému dobrému zašroubování průchodky i přes extrémně slabou stěnu. Toto může nastat ve dvou případech.

První z případů je výroba závitu z boku odlitku. Jak je patrné na obrázku číslo 34, nachází se zevnitř odlitku takzvané podesty, které nám zesilují tloušťku stěny. Tím nám umožňují i přes slabší stěnu vytvořit plnohodnotný závit do hloubky několika milimetrů. To při nejpoužívanějším závitu se stoupáním 1,5 mm dostatečně postačí pro zašroubování průchodky.

V druhém případě je vnější průměr závitu tak velký, že se částečně závituje do bočních stěn odlitku a ty nám pak pomáhají k dobrému zafixování průchodky.

Oba tyto případy nás vedly k analýze, jejíž data jsou shrnuta v tabulce číslo 49 a udávají, od kterého závitu nám začnou „pomáhat“ s fixací průchodky výše popsané vlivy.



Obrázek č.34: Závit v podestě odlitku

Tabulka č.49: Přehled fixace závitu ve stěně odlitku

PN	Šířka mezi podestami (mm)	Šířka mezi stěnami (mm)	Minimální závit pro fixaci typu M z boku (STS)	Minimální závit pro fixaci typu PG z boku (STS)	Minimální závit pro fixaci typu M z vrchu (STO)	Minimální závit pro fixaci typu PG z vrchu (STO)
1110034	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29
1110113	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29
1110114	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29
1110135	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29
1110136	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29

1110137	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29
1110138	21,00	37,00	M25	PG21	M40	PG29

7.3 Vyhodnocení možnosti vzniku zmetku

Pro určení, kdy nám závada může vzniknout, jsme nejdříve určili typy odlitků, u kterých se tato závada může vyskytnout. Ty jsme určili na základě tloušťky stěn. Protože většina rozměrů je na odlitku standardizována, dají se všechny vyšetřované odlitky rozdělit do dvou základních skupin, a to na odlitky se zesílenou stěnou, jakými jsou typy 1110034 a 1110864, u kterých nebyla závada zaznamenána a které mají tloušťky stěn 5 mm a 8,5 mm. Všechny ostatní odlitky tvoří druhou skupinu, u které máme dva rozměry tloušťky stěny a to 3 mm nebo 3,5 mm. Pro další vyhodnocení jsme počítali právě s těmito rozměry.

V druhém kroku jsme se zaměřili na typy závitů, u kterých daný problém může vzniknout. V tomto hodnocení jsme zohlednili i dříve popsanou konstrukci odlitků. V návaznosti na konstrukci odlitků jsme se rozhodli posuzovat možnost výskytu zvlášť u variant se závitem ze strany odlitku (STS) a zvlášť z vrchu (STO).

Varianta se závitem ze strany (STS):

Tloušťka bočních stěn, až na jeden typ odlitku, je 3 mm. Závity které se na těchto místech obrábí, jsou dříve uvedené typy od PG16 po PG29. Vnější průměr nejmenšího vyráběného PG závitu je kolem 22,5 mm, což nám zaručuje, že tento závit bude prodloužen o část závitovanou v „podestě“ a průchodka se bude moci dostatečně zašroubovat. Při výrobě PG závitů nemůže dojít k proklouznutí průchodky. Pokud by se v budoucnu rozhodlo o vyrábění menšího závitu, než je PG16, musel by se brát zřetel na sílu stěny odlitku, protože tyto závity by měly na zachycení pouze vlastní sílu stěny.

Další řadou vyráběnou na této ploše je řada metrických závitů. Ta se vyrábí od M16 po M40. V tomto případě nemůže dojít k proklouznutí u závitů M25 a více, protože ty jsou zachyceny také v místě „podesty“. Závity typu M16 a M20 mají menší vnější průměr závitu, než je šíře mezi podestami, proto se k fixaci průchodek s těmito závity využívá pouze stěna odlitku.

Z výše popsaných informací jsme v dalších úvahách uvažovali s řadou závitů M16 a M20.

Varianta se závitem z vrchu (STO):

Všechny uvažované odlitky mají předepsanou tloušťku stěny 3,5 mm. U této varianty se nachází daleko více provedení, která jsou fixovaná pouhou tloušťkou stěny. Jsou to všechny varianty menší jak M40 a PG29. Například varianta se závitem M32 je nejčastěji vyráběnou variantou v našem podniku. V dalších úvahách jsme počítali pro variantu STO se závitem M32.

V dalším kroku jsme vzali v potaz skutečné rozměry stěn dodávaných odlitků od dodavatele, šířku zápichu za závitem a hloubku zahloubení pro těsnění. U zahloubení počítáme s rozměrem 0,5 +0,1mm, protože zahloubení 1,5 +0,1mm se vyrábí pouze u provedení se silnější tloušťkou stěny. Všechny tyto faktory jsme zapsali do tabulky číslo 50.

Tabulka č.50: Výpočet tloušťky stěn

Varianta	STS I.	STS II.	STO I.	STO II.
Síla stěny	2,95 mm	2,95 mm	3,45 mm	3,45 mm
Zápich průchodky pro M20	1,5 mm	1,5 mm	X	X
Zápich průchodky pro M32	X	X	2 mm	2 mm
Zahloubení pro o-kroužek	0,65 mm	0,65 mm	0,65 mm	0,65 mm
Úběr při obrábění multi.	0,6 mm	X	0,6 mm	X
Úběr při obrábění svěrák	X	0,3 mm	X	0,3 mm
Zbytek stěny pro fixaci	0,2 mm	0,5 mm	0,2 mm	0,5 mm

Z výše propočtených hodnot je patrné, že při naší značné variabilitě procesu nám u některých kusů zůstává tloušťka stěny několika desetin milimetru. Takto slabá stěna nám vnáší značné riziko možnosti vzniku vady na protočení, protože proces obrábění je „nekontrolovaný“ a tak nemůžeme vyloučit i větší odběry, než jaké se podařilo naměřit.

Z uvedených hodnot je patrné, že potřebujeme dostat proces frézování pod kontrolu a zlepšit ho minimálně na úroveň, jakou vykazuje systém s dvojkusovým upínáním.

Jak je z dříve uvedených výpočtů patrné, může nám problém s protočením průchodky nastat u závitů M20 resp. M32 a menších. U PG variant je situace jednodušší, zde se může problém vyskytnout pouze u závitů vyráběných z vrchu, a to u PG29 a menších.

7.4 Návrh nápravných opatření

Vzhledem k tomu, že proces obrábění je největším problémem, navrhujeme tato opatření :

- 1) Stabilizovat proces obrábění I. Jak je patrné z naměřených hodnot obráběných odlitků PN 1110864, dají se kusy obrábět v jedné desetině milimetru, proto navrhujeme prověření všech upínacích přípravků a jejich případnou opravu.
- 2) Stabilizovat proces obrábění II. Do výrobních výkresů doplnit kóty pro měření výšky odlitku, která bude stejná, jako je uvedena na zákaznickém výkresu.
- 3) Stabilizovat proces obrábění III. Do kontrolních karet doplnit rozměr výšky odlitků s požadavkem měření kusů ze všech upínacích pozic.

- 4) Po odladění a snížení variability procesu obrábění ověřit účinnost nápravných opatření. Pro ověření procesu doporučujeme zavedení regulačních diagramů na daný proces.

8 Závěr

I přes pozitivní vývoj v dostupnosti literatury zabývající se vyhodnocením měřidel stále přetrvává horší dostupnost literatury či odborných textů s řešením konkrétních praktických příkladů užití těchto nástrojů. Mnoho software dokáže vypočítat nejistotu měřidla, ale zpravidla je tato nejistota počítána pro předem definované laboratorní podmínky. To je pro vlastní kalibraci správné, ale častokrát se stává, že se tyto hodnoty přenášejí do výrobních systémů měření a zde nastává zkreslení dat, protože se jen v minimu případů dají srovnávat měření v laboratorních podmínkách s měřením v běžných výrobních podmínkách. Dále se domníváme, že bližší pochopení problematiky určení nejistoty měření s výpočtem způsobilosti měřidla by měl být základ, se kterým by se měli seznámit všichni, co mají co do činění s předpisy pro užívání měřidel.

To se domníváme hned z několika hledisek, kde to základní je to, že pokud budeme počítat nejistoty měření typu B , pak budeme provádět úvahu nad tím, co vše nám může daný proces měření ovlivnit. Další z důvodů je ten, že pokud se někdo setká s udanou nejistotou měření u měřidla od dodavatele, pak nebude tuto nejistotu měření brát jako směrodatnou, ale jen jako dobrý základ pro stanovení nejistoty pro jeho proces, protože do daného procesu může vstupovat velké množství dalších vlivů, jakými jsou například vliv geometrie měřeného dílu, větší teplotní výkyv měřeného dílu ku měřidlu, rozdílnost materiálu měřeného dílu a měřidla atd.

Bohužel se tyto základní poznatky vytrácejí z povědomí mnoha zaměstnanců, proto i jedním z cílů této práce je shrnutí posuzování vhodnosti komunálních měřidel ve výrobních podmínkách podniku Tyco Electronics Trutnov, kde vlastní posuzování proběhlo za pomoci určení nejistot měřidel a výpočtu jejich způsobilosti.

V první části této práce je stručně popsána teorie výpočtu a určení nejistoty měření a výpočtu způsobilosti měřidel pomocí metody $R@R$. Dále tato část práce pojednává o vlivech, které jsou spojeny s výpočty nejistot. Jedním z těchto vlivů je vliv

teploty na měřicí systém. Ta je často opomíjena, ale může nám nezanedbatelně ovlivnit proces měření, například když nastane případ, že měřidlo a měřený díl nejsou z podobně teplotně roztažných materiálů a vyráběný rozměr má přesnou výrobní toleranci.

V prostřední části této práce jsme vyhodnocovali stávající systém měření, který jsme uznali za nevyhovující ve všech vyšetřovaných skupinách měření. Tento „špatný“ stav je zapříčiněn spoléháním se na relativně universální posuvné měřidlo, které bylo využíváno u všech vyšetřovaných skupin. Nespornou výhodou tohoto měřidla je rychlost provedení vlastního měření a universálnost, ale na druhé straně je toto měřidlo náchylné na použitou sílu operátora a operátor zde může lehce zanechat chybu metody měření. Poslední dva zmiňované vlivy byly podmětem pro nahrazení tohoto měřidla měřidly jinými. Pro všechny vyšetřované skupiny byla navržena jiná měřidla z pohledu způsobilosti procesu měření. U těchto měřidel jsme se záměrně vyhnuli cenovým kalkulacím a to z důvodu, že podnik Tyco nakupuje měřidla ve větším množství i přes zprostředkovatele z ciziny (kumulace nákupu pro více Tyco podniků), kde se dosahuje zajímavých slev, ale hlavně podnik Tyco disponuje moderní nástrojárnou, kde si v rámci režijních nákladů je schopen mnoho měřidel vyrobit sám.

V poslední části této práce jsme se zaměřili na identifikaci příčin vzniku zmetků na protočení průchodky a jejich odstranění. V návaznosti na zjištěné údaje jsme navrhli sadu opatření, která by měla vést k zlepšení způsobilosti procesu obrábění. Navrhovaná nápravná opatření se dotýkají přes úpravu upínacích přípravků, zavedení chybějících kót do výrobních výkresů. Všechna uvedená opatření by měla vést k zlepšení způsobilosti výrobního procesu.

Závěrem bychom chtěli zdůraznit nutnost větší osvěty pochopení systémů měření v technických kruzích podniku Tyco, protože bez pochopení měřících systémů jen těžko budeme dosahovat způsobilých výrobních procesů.

9 Seznam tabulek a obrázků

Tabulka č.1:	Koeficienty k_s	6
Tabulka č.2:	Koeficienty rozšíření k pro normální rozdělení.....	6
Tabulka č.3:	Tabulka koeficientů počtu měření.....	6
Tabulka č.4:	Tabulka koeficientů počtu operátorů.....	6
Tabulka č.5:	Tabulka koeficientů K_3	6
Tabulka č.6:	Koeficienty délkové roztažnosti.....	6
Tabulka č.7:	Seznam výkresů.....	6
Tabulka č.8:	Seznam vybraných skupin a zástupců pro kontrolu.....	6
Tabulka č.9:	Seznam kalibrovaných měřidel.....	6
Tabulka č.10:	Naměřené hodnoty posuvkou 3919.....	6
Tabulka č.11:	Naměřené hodnoty posuvkou 3920.....	6
Tabulka č.12:	Naměřené hodnoty posuvkou 3924.....	6
Tabulka č.13:	Naměřené hodnoty posuvkou 392.....	6
Tabulka č.14:	Naměřené hodnoty posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.15:	Nejistota typu A pro posuvné měřidlo.....	6
Tabulka č.16:	Nejistoty typu B.....	6
Tabulka č.17:	Analýzy nejistot pro rozměr 0,6.....	6
Tabulka č.18:	Analýzy nejistot pro průměr 3.....	6
Tabulka č.19:	Analýzy nejistot pro rozměr 6,5.....	6
Tabulka č.20:	Analýzy nejistot pro rozměr 9.....	6
Tabulka č.21:	Analýzy nejistot pro rozměr 39,5.....	6
Tabulka č.22:	Analýzy nejistot pro rozměr 56.....	6
Tabulka č.23:	Analýzy nejistot pro rozměr 70.....	6
Tabulka č.24:	Standardní nejistoty měření pro dané skupiny rozměrů.....	6
Tabulka č.25:	Naměřené hodnoty rozměru 0,6 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.26:	Naměřené hodnoty rozměru 3 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.27:	Naměřené hodnoty rozměru 6,5 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.28:	Naměřené hodnoty rozměru 9 digitální posuvkou 3919.....	6
Tabulka č.29:	Naměřené hodnoty rozměru 39,5 digitální posuvkou 3919.....	6
Tabulka č.30:	Naměřené hodnoty rozměru 56 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.31:	Naměřené hodnoty rozměru 70 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.32:	Tabulka vyhodnocení skupin měření.....	6
Tabulka č.33:	Tabulky vyhodnocení pro rozsahy tolerancí.....	6
Tabulka č.34:	Opakované naměřené hodnoty rozměru 0,6 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.35:	Opakované naměřené hodnoty rozměru 9 digitální posuvkou 3928.....	6
Tabulka č.36:	Porovnání hodnot GRR vlastního výpočtu ku internímu programu.....	6
Tabulka č.37:	Výsledek %GRR z Minitabu I.....	6
Tabulka č.38:	Výsledky testu na způsobilost měřidla.....	6

Tabulka č.39: Naměřené hodnoty úchylkoměrem.....	6
Tabulka č.40: Návrh řešení výrobních tolerancí pro rozměr V.....	6
Tabulka č.41: Seznam zápchů za závitem.....	6
Tabulka č.42: Vyhodnocení mikrometru.....	6
Tabulka č.43: Vyhodnocení úchylkoměru pro rozměr 90.....	6
Tabulka č.44: Seznam rozměrů odlitků.....	6
Tabulka č.45: Výška odlitku 1110034 po frézování odlitku.....	6
Tabulka č.46: Rozměry upínacích segmentů pro PN 1110034.....	6
Tabulka č.47: Výška odlitku 1110113 po frézování odlitku.....	6
Tabulka č.48: Výška odlitku po frézování 1110864.....	6
Tabulka č.49: Přehled fixace závitu ve stěně odlitku.....	6
Tabulka č.50: Výpočet tloušťky stěn.....	6
Obrázek č.1: Typy rozdělení.....	6
Obrázek č.2: Zobrazení opakovatelnosti.....	6
Obrázek č.3: Zobrazení reprodukovatelnosti.....	6
Obrázek č.4: Důležitý výrobní znak.....	6
Obrázek č.5: Příklad kóty rozteče.....	6
Obrázek č.6: Příklad kóty průměru.....	6
Obrázek č.7: Příklad kóty závitu.....	6
Obrázek č.8: Příklad kóty hloubky.....	6
Obrázek č.9: Příklad kóty osy průměru od hrany odlitku 1.....	6
Obrázek č.10: Příklad kóty osy průměru od hrany odlitku 2.....	6
Obrázek č.11: Příklad kóty rozteče děr.....	6
Obrázek č.12: Příklad kótování podesty a zahloubení.....	6
Obrázek č.13: Příklad kóty od osy ke kraji odlitku.....	6
Obrázek č.14: Příklad kóty osy na šikmé ploše.....	6
Obrázek č.15: Body měření na „podestě“.....	6
Obrázek č.16: Komunální měřidla.....	6
Obrázek č.17: Válečkový kalibr oboustranný.....	6
Obrázek č.18: Porovnávací přípravek.....	6
Obrázek č.19: Typy dutinoměru.....	6
Obrázek č.20: Měření speciálním hrotem.....	6
Obrázek č.21: Zobrazení znázornění parametrů koeficientu z.....	6
Obrázek č.22: Měření rozměru 70 mm.....	6
Obrázek č.23: Průchodka s a bez o-kroužku.....	6
Obrázek č.24: Ilustrační obrázek s body měření.....	6
Obrázek č.25: Upínací segmenty odlitku 1110034.....	6
Obrázek č.26: Upínání pomocí svěráku.....	6
Obrázek č.27: Body měření odlitku 1110034.....	6
Obrázek č.28: Graf 1: Stabilita procesu frézování PN 1110034.....	6
Obrázek č.29: Kontrolní body na upínacích segmentech.....	6
Obrázek č.30: Graf 2: Stabilita procesu frézování PN 1110113.....	6
Obrázek č.31: Graf 3: Stabilita procesu frézování PN 1110864.....	6
Obrázek č.32: Graf 4: Způsobnost procesu frézování PN 1110864 pozice č.1.....	6
Obrázek č.33: Graf 5: Způsobnost procesu frézování PN 1110864 pozice č.2.....	6
Obrázek č.34: Závít v podestě odlitku.....	6

10 Seznam literatury

MATUSKÝ, J. Analýza systémů měření (MSA). Praha : 2003. 234 s. ISBN 80-02-01562-2

Breyfogle III, F.W. IMPLEMENTING SIX SIGMA, Smarter Solutions Using Statistical Methods. 2. vydání. Austin:Wiley, John Wiley & sons, INC. 2002. ISBN 0-471-26572-1

Fabian, F.a kolektiv: Statistické metody řízení jakosti. 1. vydání. Praha:Česká společnost pro jakost. 2007. ISBN 978-80-02-01897-1